DISEÑO DE UNA BARRERA DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE QUIBDÓ – CHOCÓ

PAULA ALEJANDRA HIGUERA ALFONSO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C.
2022

DISEÑO DE UNA BARRERA DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE QUIBDÓ – CHOCÓ

PAULA ALEJANDRA HIGUERA ALFONSO

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director
NATHALIA KATHERINE TINJACÁ JIMÉNEZ
Ingeniera Civil. Magíster en Ingeniería- Recursos Hidráulicos

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C.
2022

Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the license. Advertencia.

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Bogotá D.C., 23 de junio de 2022

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.. 14

1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 16

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN 19

3. MARCO DE REFERENCIA 22

3.1 MARCO CONCEPTUAL 22

3.2 MARCO DE REFERENCIA 29

3.2.1 Inundación..... 29

3.2.2 Cuenca hidrográfica 30

4. ESTADO DEL ARTE 33

5. OBJETIVOS…..... 36

5.1 OBJETIVO GENERAL 36

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 36

6. ALCANCES Y LIMITACIONES 37

6.1 Alcance 37

6.2 Limitaciones..... 37

7. METODOLOGÍA..... 39

7.1 FASE DE INVESTIGACIÓN 39

7.2 FASE HIDROLÓGICA 40

7.2.1 área de estudio de la cuenca 40

7.2.2 Análisis de datos pluviométricos 44

7.2.3 Hidrograma 51

7.2.4 Método de Hidrograma Unitario del United States Soil 52

7.2.5 Tiempo de concentración 56

7.2.6 Modelo HEC HMS 56

7.3 FASE HIDRAULICA.....58
7.3.1 Modelo hec ras.....58
8. ANALISIS Y RESULTADOS.....62
8.1 Modelo HEC HMS 62
8.2 Modelo HEC RAS 64
8.3 Barrera de protección contra inundaciones 67
9. Discusión de resultados 70
10. ACCIONES PARA TRANSFERIR LOS RESULTADOS.....72
11. CONCLUSIONES.....73
12. RECOMENDACIONES 75
13. BIBLIOGRAFÍA 76
14. ANEXOS…….. 80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana 55
Tabla 2. Coeficiente de rugosidad de manning 60

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Valores de los coeficientes a,b,c,d, para el cálculo de las curvas intensidad- duración- frecuencia IDF, para Colombia……... 49

Cuadro 2 Grupo hidrológico del suelo……. 54

Cuadro 3 Valores de tiempo de concentración…….. 56

Cuadro 4 Dimensiones de barrera geobags……... 69

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Floodgate…… 26

Figura 3.2 Tubewall…….. 26

Figura 3.3 Barrera bund……... 27

Figura 3.4 Muros portátiles…….. 28

Figura 3.5. Geobags……. 29

Figura 7.1. Mapa de zonificación de amenazas por inundación, sector sur del municipio de Quibdó…… 41

Figura 7.2 Modelo Ráster obtenido del satélite ALOS PALSAR…….. 42

Figura 7.3. Delimitación de cuenca y corrientes…….. 43

Figura 7.4 Capa TIN……. 43

Figura 7.5. Valores de atributos…… 44

Figura 7.6. Área de pendientes…….. 44

Figura 7.7. Estaciones del IDEAM…… 45

Figura 7.8. Polígonos de Thiessen……..….. 46

Figura 7.9. Valores totales diarios de precipitación……. 47

Figura 7.10. Regiones en Colombia para definición de parámetros a,b,c,d 49

Figura 7.11 Curva IDF Estación Tutunendo……. 50

Figura 7.12. Curva IDF Estación Aeropuerto el Carano……. 51

Figura 7.13. Curva IDF Estación Huapango……. 51

Figura 7.14. Curva IDF Estación Lloro…….. 52

Figura 7.15. Hidrograma de precipitación……. 53

Figura 7.16. Mapas de suelos del territorio colombiano, departamento Del Chocó…… 54

Figura 7.17. Mapa cobertura tierra……. 56

Figura 7.18. Basin model HEC HMS…….. 58

Figura 7.19. Modelo digital del terreno…….. 59

Figura 7.20. 2D área de flujo…….. 60
Figura 7.21. Celdas área de flujo…… 61
Figura 7.22. Análisis de flujo no estacionario……... 62
Figura 8.1. Hietograma de precipitación…… 63
Figura 8.2. Caudal máximo…… 64
Figura 8.3. Gráfica de hietograma de precipitación…… 64
Figura 8.4. Resultados del modelo…… 65
Figura 8.5. Inundación en el Municipio de Quibdó…….. 66
Figura 8.6. Velocidad de inundación…… 67
Figura 8.7. Elevación de la lámina de agua…… 67
Figura 8.8. Diseño de barrera de protección con Geobags…… 69
Figura 8.9. Diseño de barrera de protección con Geobags…… 70
Figura 9.1 Puente Cabí…… 71
Figura 9.2. Delimitación de la zona…… 72

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación de kirpich (1) 31
Ecuación de Témez (2).....31
Ecuación de Johnstone y Cross (3) 32
Ecuación de Giandott (4) 32
Ecuación de V.T Chow (5) 32
Ecuación de proporción normal (6)..... 47
Ecuación de promedio aritmético (7) 47
Ecuación de intensidad de precipitación (8) 48
Ecuación de máxima potencia (9)..... 53
Ecuación de periodo de retardo (10)..... 57

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes en algunas ciudades o regiones que son consecuencia de cambios climáticos o ambientales que están presentes en la actualidad. Estas pueden ser producidas por diferentes factores como la lluvia persistente que generan un aumento de nivel del agua ocasionando desbordamientos. Otros factores importantes para tener en cuenta son la zona del terreno, el tipo de uso que le dan al suelo, los residuos inorgánicos en las calles y la acumulación de basuras en alcantarillas, entre otros. [1]

El fenómeno mencionado además ocasiona situaciones de conflicto social, pues estas generan al año miles de damnificados, la mayoría quedando sin vivienda o con graves afectaciones en la infraestructura de sus casas, vías y calles de las ciudades que se ven seriamente destruidas a causa de los innumerables desbordamientos, eso sin contar con los daños que se generan en productos agrícolas, en los animales, etc., las inundaciones incluso perjudican a la humanidad en los factores económicos y afecta las diferentes actividades de los individuos. [2]

Teniendo en cuenta lo anterior, una de las poblaciones colombianas más afectadas por las fuertes inundaciones se encuentra en el departamento del Chocó. Actualmente son más de 3.000 familias damnificadas; que han tenido graves consecuencias en los factores psicosociales, económicos y políticos, repercutiendo directamente en el desarrollo de la ciudad. [3]

En consecuencia, Quibdó como la mayoría de los municipios del departamento del Chocó, presenta alto riesgo de inundación debido a las altas precipitaciones pluviales que como consecuencia generan desbordamientos en ríos de esta zona como el río Atrato y el río Cabí. Es por esto por lo que se hace necesario generar conciencia en la población sobre la gestión de los residuos y en la gobernación

sobre toda la prevención que se pueda realizar para mejorar la calidad de vida en la ciudad. [4]

Por lo tanto es importante poder realizar el diseño de una barrera de protección para prevenir las inundaciones, es una solución a la problemática que más damnificados deja en el territorio nacional, ya que puede generar mayor estabilidad económica y seguridad a los habitantes de las diferentes regiones y darle la protección suficiente a las vías, las viviendas y los puentes construidos que han sido derribados como consecuencia de la fuerza de las crecientes o desbordamientos que provocan incluso derrumbes, taponamientos y múltiples afectaciones físicas y sociales. Parte de la intervención consiste en el diseño de una barrera que es la que se pretende explicar en este proyecto y que puede servir para muchas otras regiones que quieran adoptar esta posición frente a la prevención de desastres. [5]

Según lo presentado a lo largo de este trabajo, es necesaria la intervención frente a las inundaciones que se presentan en la zona específicamente analizada en este informe, por lo cual, se hace necesario el diseño de una barrera de contención que ayude a mitigar el riesgo frente a este fenómeno de la naturaleza.

1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Este proyecto pretende dar solución a la problemática que ha estado presente durante años y la cual deja más damnificados en Colombia específicamente en la región pacífica del país a causa de las múltiples inundaciones que se presentan en el río Atrato por la acumulación de lluvias que generan a su vez un inminente riesgo en la subcuenca del río Cabí; como aún no hay una solución efectiva y pese a los esfuerzos que se realizan para contener las inundaciones, estas siguen presentes en la mayoría de las regiones, afectando la economía y el desarrollo de la nación, entonces busca brindar una herramienta para que apoye los trabajos realizados hasta el momento frente a esta necesidad. [6]
Según Dickson, (2012): “Las inundaciones acumulan los mayores porcentajes de pérdidas de vidas y viviendas destruidas, respectivamente, factores como la variabilidad climática y el déficit en los procesos de ordenamiento territorial a nivel rural y urbano conducen a que la susceptibilidad a fenómenos como las inundaciones están aumentando”. [7]

En el Chocó son 500.093 habitantes que viven constantemente vulnerados en sus derechos, por varios aspectos, el principal es el abandono de las organizaciones gubernamentales, donde no se da a reconocer la independencia de las entidades étnico-territoriales, y se presentan fuertes intereses económicos frente a la explotación minera-energética, la madera y la infraestructura vial. Todas las consecuencias que se derivan de la problemática terminan generando difíciles situaciones de escasez y pésimas condiciones en la calidad de vida de los habitantes de esta región produciendo insatisfacción en las localidades afrocolombianas e indígenas. [8]

Las inundaciones se presentan constantemente en las diferentes ciudades de Colombia, muchas son las causas que generan la situación, entre estas las fuertes lluvias y la minería ilegal que contaminan los ríos y genera afectaciones graves en

el medio ambiente, tales como el desbordamiento de los canales y las inundaciones. [9]

En esta oportunidad el piloto se realizará en la región del Chocó, específicamente en el municipio de Quibdó, municipio bastante afectado por las diferentes inundaciones debido a la falta de protección contra catástrofes de este tipo. Varias han sido las alternativas que presentan los entes gubernamentales, tales como la construcción de muros de contención, los cuales terminan siendo un esfuerzo casi nulo para dar solución de raíz al problema. [10]

El río Atrato al menos una vez al año inunda los municipios que lo rodean, esto debido a las lluvias persistentes que producen un aumento progresivo del nivel de las aguas de los ríos Quito, Andágueda, Cabí y Murrí que vierten sus aguas en el río Atrato, aguas que logran superar la altura de las orillas naturales, generando los desbordamientos que perjudican las zonas aledañas. [11]

El creciente número de inundaciones del río Atrato causa una afectación directa en el río Cabí, este a su vez afecta tanto a las viviendas formales del barrio Niño Jesús en la parte baja, como a las viviendas informales del barrio Palenque ubicado en un humedal o aliviadero hidráulico del río. Muchos asentamientos humanos informales se encuentran en la zona, esto genera que los habitantes del sector obstruyan el caudal del río por las malas prácticas como la minería ilegal, los desechos y la construcción de viviendas improvisadas produciendo disminución a la capacidad de descarga hidráulica en épocas de crecidas, desencadenando las inundaciones mencionadas. [12]

Para el municipio de Quibdó la cuenca del río Cabí tiene una gran importancia ya que este río suministra agua al acueducto de la capital del Departamento del Chocó. El río Cabí ha sido la única fuente de abastecimiento de agua, sometida a tratamiento para el consumo humano de los habitantes de la ciudad de Quibdó.

Además, es la principal vía de acceso para las comunidades de Pacurita, Guadalupe, San Martín y San José de Purré, las cuales son proveedoras de productos agrícolas para la ciudad de Quibdó. [6]

Según el IDEAM, (2021): “El desbordamiento del río Atrato es la causa principal en el incremento de las aguas de los ríos Quito, Andágueda, Cabí y Murrí, entre otros, causantes de las inundaciones más importantes de la región, principalmente en la cuenca alta y media del río Atrato. Lo anterior significa que Quibdó es una de las zonas en Colombia que como consecuencia del fenómeno de la niña más inundaciones presenta, ya que persisten en un 90 y 95 por ciento, al año. [11]

Con este proyecto se pretende prevenir inundaciones a aquellos barrios vulnerables que se encuentran situados cerca de los ríos, específicamente al río Cabí y así poder llegar a ejecutarlo en diferentes zonas en Colombia. Es importante poder realizar un buen modelo que pueda llegar a implementarse como una posible solución a esta problemática que se presenta en diferentes regiones del país, logrando así disminuir las afectaciones en las viviendas y en la economía de cada municipio.

¿Qué resultados se obtendrían del análisis de inundaciones en el río Cabí a partir de un modelo hidráulico, para generar el diseño de barreras de protección?

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Según SAGGES, (2018): “Históricamente el departamento de Chocó ha sido uno de los más afectados por inundaciones en Colombia. Para el 2018, la mitad del departamento pidió auxilio, pues alrededor de 17 municipios fueron afectados por este fenómeno, dejando a más de 20.000 damnificados, los cuales perdieron sus pertenencias, algunos familiares e incluso algunos de ellos perdiendo por completo sus viviendas quedando desamparados y sin lugares que habitar. [13]

Se hace necesaria una intervención que contribuya al mejoramiento de esta problemática y se hace casi que indispensable la prevención frente a la situación que afecta a la población mencionada. Los organismos operativos del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo del Chocó, registran sus actividades desde el inicio de la inundación, evalúan los daños ocasionados mediante un análisis de las necesidades que surgen a partir del suceso (EDAN) y generan las medidas para la recuperación, pero se hace necesaria una exhaustiva dedicación a la prevención frente a las inundaciones ya que es una situación de riesgo constante en la zona y no puede seguirse presentando por la falta de anticipación al suceso. [13]

En noticia publicada por Caracol Radio, (2021) “Las fuertes lluvias que se han presentado los últimos días hace que se presenten desbordamientos en el Río Atrato causando así inundaciones en el casco urbano y zona rural del municipio.” [14]

Según Mena, El alcalde de El Carmen del Darién, (2021) “Existen más de 5000 familias que a causa de la ola invernal que se presenta en Lloró desde noviembre de 2020 y que da poca tregua a la zona, se han visto afectadas, incluso 1.300 de estas han perdido todos sus enseres. Es preocupante el panorama que está pasando, ya que también las personas que viven de la agricultura han perdido todos sus cultivos” [14]

Para SAGGES, (2018) “Mientras se esperaba que disminuyeran los niveles de las fuentes hídricas, la UNGRD envió 25.000 ayudas humanitarias de emergencia, entre alimentos, kits de aseo y sobrecamas”. [13]

Con el propósito de alcanzar los indicadores para realizar el diseño frente a las obras de automatización de las vertientes, como también para la proyección en el uso del suelo, inicialmente, corresponde realizar análisis en la hidrología con el fin de encontrar aquellas variables hidrometeorológicas y físicas de las mismas, estas luego deben ser utilizadas como datos de entrada en modelos de estudios hidrológicos. Al obtener los caudales relacionados con posibilidad de ocurrencia, son antecedentes de entrada que sirven para delimitar áreas de inundación. [13]

Los aspectos que contribuyeron con las inundaciones en Colombia en los últimos dos años se deben a las diferentes afectaciones que se generaron al medio ambiente por causa de las malas prácticas, especialmente por causa de la minería ilegal que ha crecido sustancialmente desde el año 2015. Además de la irresponsabilidad e inconciencia social que se genera frente al cuidado de los ríos y canales en las diferentes regiones del país. Según estudio presentado por la Universidad de Caldas, entre el 2010 y el 2011 se presentó un fuerte fenómeno de la niña, que ocasionó grandes inundaciones afectando a los habitantes del país y dejando más de 600 muertos a nivel nacional; las fuertes temporadas de lluvias dejaron 5,2 millones de personas damnificadas las cuales hacen parte del 11,3\% de la población del país. Existen otras causas que llevan a que este desastre natural se presente principalmente la intervención del hombre en las malas prácticas y el daño del medio ambiente, eso sin mencionar que además hay insuficiencias en la utilización del suelo y las cuencas hidrográficas; la ausencia de transparencia y apariencia de corrupción; leyes que carecen de métodos aplicativos, en espacios fiscales y de mecanismos para el rastreo y medición de consecuencias; entre otros. [15]

En el departamento del Chocó, la ausencia de miembros oficiales para la prevención de desastres genera un alto riesgo que va en contravía con el desarrollo de la población, lo que perjudica notablemente las zonas de vulnerabilidad en la región, generando contingencias que desencadenan en amplias inundaciones en los diferentes sectores que como en la capital Quibdó, requieren de una intervención amplia y suficiente para poder contener los sucesos. [7]

En diferentes oportunidades se ha tratado de mejorar esta situación, sin embargo, se hace necesaria la intervención con obras de adecuación de la infraestructura. La región sufre constantes afectaciones por no tener un estudio de rectificación de cauces, los cuáles son la principal causa de desbordamientos y por ende de inundación de barrios en la capital del Chocó.

Según el autor Maturana (2007), en su artículo “Mapa de zonificación de amenazas por inundaciones del casco urbano del municipio de Quibdó- Chocó” los barrios con mayor probabilidad de inundación son aquellos que están cercanos a los ríos que cruzan la capital y que generalmente tengan alturas entre los 25 y 27 metros sobre el nivel del mar o incluso menores. Estos tienen mayor amenaza para este tipo de contingencias, ya que su exposición es más directa debido a su cercanía con el cauce de los ríos Atrato, Cabí, quebrada La Yesca y caño El Caraño. [12]

Teniendo en cuenta lo mencionado en el párrafo anterior algunos barrios con mayor afectación en la zona son: San Vicente, Valencia, La Yesquita, Chambacú, San Martín, Pan de Yuca, Pablo VI, García Gómez, zonas de Niño Jesús y Palenque afectados por la quebrada La Yesca. Otra zona con menor afectación pero que igual hacen parte del riesgo son La Playita, Horizonte y Alfonso López en la ronda del río Cabí, para estos se requiere de una prevención focal, que se extienda hasta los barrios consecutivos en avance hacia el oriente de la región. [12]

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 MARCO CONCEPTUAL

Este proyecto pretende proponer un cambio frente a la actuación en riesgos que se presentan por las inundaciones en Colombia, específicamente se trata de tener herramientas para dar soluciones en el municipio de Quibdó uno de los más afectados a causa de los desbordamientos en el río Atrato, por lo tanto, es fundamental cambiar la forma como el gobierno hace frente a las emergencias que se presentan con las inundaciones.

La prevención que se describe en el presente documento se focaliza en la zona de estudio, con la aplicación de un modelo hidrológico que guíe o ajuste el diseño de la barrera de protección, para dejarla como una posible intervención que sirva para la prevención de desastres ocasionados por las inundaciones en la región.

Las inundaciones son todas aquellas que se producen como consecuencia de factores tales como desbordamiento de ríos por concentración mayoritaria de aguas a causa de lluvias torrenciales o crecientes súbitas de diferentes fuentes fluviales. [1]

Según Gonzales, (2014) “Las causas que generan una inundación, se pueden clasificar en”: [16]

1. Desbordamiento: Se presenta cuando el agua supera los niveles máximos del cauce del río.

2. Encharcamiento: Es todo aquel almacenamiento de agua producido generalmente por lluvias, el cual presenta problemas con su drenaje por colmatación o estancamiento en el alcantarillado del lugar.

3. Por reflujo: Se da cuando las vertientes de agua forman una curva de elevación, limitando el drenaje y generando la acumulación.

4. Por rompimiento de presas o jarillones: Ocurre cuando las estructuras que sostienen aguas contenidas ceden ocupando zonas de influencia.
5. Lenta: Se presenta en lugares planos que vierten agua lentamente, el río se sale de su lugar y traspasa la máxima capacidad produciendo inundación de los espacios planos cerca a estos.

6. Súbitas: crecientes de alta pendiente, con escasa capa de vegetación, ocurre con gran velocidad cuando las lluvias son intensas y duraderas.

Las inundaciones son un gran problema ya que ocurren con frecuencia, sin embargo, las autoridades municipales y/o estatales a menudo no toman decisiones adecuadas en lo que se refiere a la gestión del riesgo de inundación, por ejemplo, permiten construcciones en zonas inundables y no evalúan los efectos en el mediano y largo plazo. [7]

Es por esto necesario tener en cuenta un modelo de diseño que intervenga la inundación, se hace también importante la realización y el mantenimiento de proyectos piloto que contribuyan a la solución de la problemática, generando informes técnicos que presenten las posibles intervenciones ante los riesgos por inundaciones que se presentan en Colombia, respetando los principios básicos elaborados para proyectos naturales. [7]

Según el Banco Nacional, (2017). “La finalidad de estos principios es inducir las mejores habilidades en prevención de errores comunes en el uso de los recursos basados en la naturaleza” Los principios básicos para manejar el progreso de proyectos futuros basados en la naturaleza son cinco. [7]

1. Perspectiva de las escalas del sistema.

2. Valoración de riesgos y estudio de posibles soluciones.

3. Evaluación estandarizada del desempeño.

4. Conservación y la reparación de ecosistemas.

5. Gestión adaptativa.

Una barrera contra inundaciones es un sistema de protección, diseñada para evitar que el agua, ya sea de la lluvia o de otro tipo inunden el área protegida detrás de la barrera. Esta puede integrarse de muros contra inundaciones o diques u otras construcciones, depende de las características geográficas de la zona. [7]

Emplear sistemas de prevención contra inundaciones como las barreras es la mejor forma de salvaguardar vidas y protección hacia las infraestructuras. [17]

Según LCF Technologies, (2021): Los siguientes son los tipos de barreras contra inundaciones que existen: [18]

Floodgate: Esta es fácilmente instalable (en pocos segundos), se adaptan al lugar que requiere la contención, son principalmente utilizables en viviendas, locales comerciales, entre otros y se encajan en ventanas, puertas o garajes y son reutilizables.[18]. En la imagen 4.1., se muestra un ejemplo de este tipo de estructura.

Figura 3.1. Floodgate

Fuente [18]

TubeWall: Es una barrera diseñada como su nombre lo indica en forma de tubo con grandes dimensiones. Esta estructura logra apartar zonas de inundaciones, su material es PVC, y generalmente se inflan con aire a presión generando la retención de grandes cantidades de agua. En la figura 4.2., se muestra un ejemplo de este tipo de estructura. [18]

Figura 3.2. Tubewall

Fuente [18]

La construcción de barreras de contención frente a las inundaciones son escasas, sin embargo, es muy importante tener en cuenta este tipo de construcciones, ya que pueden implementarse para mejorar la calidad de vida de las personas que viven a

las orillas de ríos que son fácilmente desbordables. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede tener como referencia las barreras Bund, que se construyen en otras partes del mundo como protección de jardines y pueden ser similares a los diques que contienen grandes cantidades de agua previniendo la inundación y las catástrofes naturales desencadenadas por las lluvias persistentes. En la figura 4.3., se muestra un ejemplo de este tipo de barrera.[19]

Figura 3.3. Barrera bund

Fuente [19]

La Barrera Bund es a base de suelo arcilloso, y forma un terraplén, que toma además bloques de brisa y láminas de plástico. Es un buen material gracias a su contenido de arcilla, el cual fortalece la barrera al punto de generar una alta contención frente a la fuerza de las aguas que se acumulan. Así como esta, muchas otras herramientas son utilizadas para la construcción de barreras, lo más importante es lograr tener un estudio completo de la situación, ya que el tipo de barrera determina la contención que deba tener el instrumento. [19]

Otra herramienta que se ha utilizado son los muros portátiles, los cuales han sido capaces de retener los imprevistos cambios del nivel del agua en los ríos. La situación más complicada es predecir los crecientes flujos de agua de los ríos pero estos muros portátiles han demostrado ser de fácil instalación, y en caso de que la

inundación sobrepase el nivel de las barreras, se pueden ir moviendo con facilidad. En la figura 4.4., se muestra un ejemplo de este tipo de muro. [20]

Figura 3.4. Muros portátiles

Fuente [20]

Otras barreras tienen materiales con más tecnología que incluyen instrumentos diferentes a los que normalmente se utilizan, pero resultan ser mucho más efectivas gracias a su resistencia que generan mayor seguridad en la construcción de las barreras. Sin embargo, se hace un enfoque dirigido a las barreras “geobags” que son bolsas fabricadas en geotextil que contienen materiales como arena, arcilla y otros tipos de materiales del terreno. Estas se pueden observar en la figura 4.5., y son ideales para zonas con difícil acceso. Se pueden realizar de diferente tamaños y dimensiones, lo que facilita su traslado y tienen una larga vida útil favoreciendo la construcción para evitar nuevas inundaciones en los barrios aledaños al río. [38]

Figura 3.5. Geobags

Fuente [38]

Para poder construir una barrera indicada para la contención de aguas que producen desbordamientos e inundaciones en Colombia, es importante generar un buen análisis hidrológico, a partir de un modelo, el cual se pueda correr en un programa creado para tal fin.

En cuanto a la zona de estudio es de gran importancia el software ArcGIS, ya que este sistema brinda información geográfica que es perfectamente utilizada para explorar, organizar datos y compartirlos para obtener valores como el área o el perímetro, por medio de la creación de mapas web, el cual es eficiente y óptimo para complementar un trabajo como este. [21]

En este sentido, también es importante conocer el modelo HEC- HMS, que será el que se va a utilizar en este proyecto para calcular datos de precipitaciones de la zona a intervenir. Este software (HEC- HMS), es un programa de simulación hidrológica que realiza graficas basadas en datos pluviométricos de estaciones meteorológicas, teniendo en cuenta la cuenca por analizar, que emite un hietograma que es un gráfico con la intensidad de lluvia vs el tiempo. [22]

Otro programa para utilizar es HEC- RAS que sirve para estudiar tramos de ríos, específicamente, permite conocer su capacidad y verificar su máximo nivel, al considerar el tiempo y espacio. Además, este programa puede ayudar en temas construcción de las barreras y las necesidades que se derivan a partir del análisis realizado. [23]

3.2 MARCO DE REFERENCIA

3.2.1 INUNDACIÓN

Según Sedano, (2012): “Las inundaciones representan uno de los mayores peligros naturales para el desarrollo sostenible (OMM, 2009) y Colombia es un país altamente propenso a los desastres, donde las inundaciones son el evento más frecuentemente observado”, muchos son los damnificados como consecuencia de estas catástrofes naturales, por eso grandes esfuerzos a través de la historia se han realizado para la intervención de este tipo de problemáticas. Pesé a las intervenciones faltan esfuerzos mayores que prevengan la situación y ayuden en el mejoramiento de las zonas con mayor afectación. [24]

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes en algunas ciudades o regiones de Colombia que son causados por cambios en el clima o sucesos ambientales. Las inundaciones pueden ser producidas por distintitos factores como la lluvia persistente que generan un aumento de nivel del agua en los ríos, a partir del cual se pueden generar desbordamientos que generalmente son causados por el mal uso del suelo, la contaminación de basuras u otros residuos en las calles y alcantarillas, y por las malas prácticas del hombre. [4]

Estos factores generan consecuencias graves de deterioro social que se manifiestan generalmente en la ciudadanía e infraestructura más vulnerable y suelen ocasionar grandes daños a la población, vías, infraestructura urbana,

hidroagrícola, fauna, entre otros, así como a diversas actividades económicas e incluso pueden ocasionar pérdida de vidas humanas. [4]

Como consecuencia hay efectos secundarios para el desarrollo sostenible de las comunidades y el avance social y económico de las regiones colombianas. Para la gestión de desastres la prioridad ha sido la amenaza, despreocupándose por las necesidades de la población expuesta y la construcción social del conflicto. [4]

El desarrollo sostenible hace parte de una buena intervención frente a las diferentes problemáticas que en las regiones se van generando, sin embargo, en el Chocó, las consecuencias de las inundaciones son las que generan una mayor vulnerabilidad para los habitantes de la zona y para el medio ambiente, pues la frecuencia, la intensidad y la duración de las lluvias, además de las malas prácticas humanas, causan una inestabilidad constante frente a las prevenciones e intervenciones que se produzcan en esta materia, es por esto que esta región en Colombia carece de obras hidráulicas convencionales lo que representa una debilidad inminente frente al mejoramiento del departamento. [25]

Según Sedano, (2012): “Por lo tanto, no pueden seguir siendo abordados en el diseño clásico con resguardos y márgenes de seguridad. Es necesario aprovechar los servicios de los ecosistemas, disminuir de la vulnerabilidad social y fortalecer la capacidad de adaptación hacia sociedades y territorios con mejor resiliencia”, generando otras opciones fuertes de contención como las barreras de protección, generadas a partir del diseño que se pretende proponer en este proyecto. [24]

3.2.2 CUENCA HIDROGRÁFICA

Una hoya u cuenca hidrográfica se define como el área de aguas que drenan hacia un mismo punto. Está presenta características físicas importantes como el tiempo

de concentración, ya que es necesario saber el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de esta. [32]

Tiempo de concentración

El valor de tiempo de concentración se toma por medio de las siguientes ecuaciones empíricas:

3.2.2.1 Ecuación de kirpich

$$\boldsymbol{T}c = 0.30 * (\frac{L}{S^{0.25}})^{0.76} \quad (1)$$

Donde:

Tc= Tiempo de concentración, en horas (h).

L = Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S = Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m).

3.2.2.2 Ecuación de Témez

$$Tc = 0.30 * (\frac{L}{S^{0.25}})^{0.76} \quad (2)$$

Donde:

Tc= Tiempo de concentración, en horas (h).

L = Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S = Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).

3.2.2.3 Ecuación de johnstone y cross

$$Tc = 2.6 * (\frac{L}{S^{0.5}})^{0.5} \quad (3)$$

Donde:

Tc= Tiempo de concentración, en horas (h).

L= Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S= Pendiente total del cauce principal, en metros por kilómetro (m/km).

3.2.2.4 Ecuación de Giandotti

$$Tc = (\frac{4A^{0.5} + 1.50L}{25.3(LS)^{0.5}}) \quad (4)$$

Donde:

Tc= Tiempo de concentración, en horas (h).

A= Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados (km^2).

L= Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S= Pendiente del cauce principal, en metros por metro (m/m).

3.2.2.5 Ecuación de V.T. Chow

$$Tc = 0.273 * (\frac{L}{S^{0.5}})^{0.64} \quad (5)$$

Donde:

Tc= Tiempo de concentración, en horas (h).

L= Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).

S= Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m).

4. ESTADO DEL ARTE

En New York, USA, se está desarrollando un proyecto llamado The Big U, en Manhattan, este se basa específicamente en la construcción de un sistema de protección que responda a la prevención de las necesidades de la ciudad frente a una posible inundación por acumulación de aguas o por lluvias constantes y frecuentes, en este lugar se hace necesaria la intervención para el sostenimiento autónomo del lugar.[26]

En Bangladesh, las graves inundaciones que se presentan desde comienzos del año 2022 dejan miles de personas sin vivienda, esta catástrofe natural es muy común en este lugar y aunque se hacen varios esfuerzos por mejorar la situación, han sido bajos los resultados, muchos habitantes han optado por transportarse en botes y lanchas para trasladarse, pues sostienen que es difícil que hagan algo por la población. [27]

En Colombia, puede adoptarse la idea, teniendo en cuenta la cantidad de catástrofes naturales que en el mismo sentido requieren de una amplia intervención.

Como ejemplo se pueden tomar las recientes catástrofes que se presentaron en abril de 2022, una de ellas ubicada en el municipio de Viotá en Cundinamarca, donde las torrenciales lluvias generaron una creciente de los ríos aledaños ocasionando una avalancha que destruyo varias viviendas, dejando varios muertos y desaparecidos. Varias personas del municipio reunieron fuerzas para construir manualmente un muro de contención provisional con madera, barilla, arena y concreto. [28]

La segunda se presentó el 18 de abril de 2022, en el municipio de Sevilla, Valle del Cauca, más de 200 familias afectadas, personas que nadaban para ponerse a salvo,

fueron una de las medidas que tomaron los habitantes de al menos 5 barrios de la zona, el río Cauca arrasó con fuerza varias viviendas dejando 28 muertos y varios desaparecidos, en una medida desesperada los habitantes deciden poner elementos que contengan la fuerza de la corriente y ponen puertas de madera sostenidas con rocas, cemento y arena para protegerse de nuevas inundaciones, mientras esperan la ayuda del gobierno y de las autoridades de prevención del riesgo. [29]

Muchas son las barreras manuales que se construyen, en la actualidad y con el aumento de las lluvias en este 2022, son amplias las intervenciones informales que con ayuda de la comunidad se efectúan para su propia supervivencia.

El invierno en Colombia está teniendo su punto más álgido de la temporada, como consecuencia genera múltiples inundaciones y avalanchas y pesé a los esfuerzos, son pocas las intervenciones adecuadas frente a la problemática. Por tal razón los organismos de prevención de desastres y socorro se encuentran en alerta, porque sucesos como el ocurrido en Viotá se pueden replicar en otros lugares del país.

Por ejemplo, en Antioquia, en abril del presente año, dos personas perdieron la vida como consecuencia de las inundaciones y otros cuatro individuos fueron rescatados cuando se encontraban en una cascada y se presentó una creciente a causa de las lluvias de días pasados. Otras de las preocupaciones que tiene el gobierno nacional es la amenaza del desbordamiento del río Magdalena en el puerto petrolero de Barrancabermeja y no se puede dejar por fuera otros municipios de la zona pacífica como Buga, Tuluá, Quibdó, y en el centro del país como Honda. [29]

Estos son algunos de los lugares que requieren una intervención inmediata debido a las diferentes consecuencias que dejan las avalanchas y crecientes en el país, pero sin duda uno de los departamentos con mayor necesidad de intervención es el Chocó, por eso, este proyecto toma como piloto a Quibdó para el diseño de las

barreras de contención, empleando el modelo HEC-RAS, que ayudará en la prevención contra este tipo de catástrofes.

Las actuales intervenciones son mínimas frente a las múltiples complicaciones que traen las lluvias en Colombia, los esfuerzos de las entidades gubernamentales frente a la prevención de desastres requieren un apoyo mayor, pues es fundamental mitigar la problemática por medio de nuevas obras, ya que los esfuerzos no han funcionado de manera adecuada dejando al 70% [30] de la población colombiana con problemas económicos y sociales a causa de las inundaciones y factores generados desde esta problemática.

Es por esto que se hace necesario el análisis de las inundaciones por medio del uso del programa HEC-RAS para generar información que permita intervenir en las situaciones planteadas, formulando una prevención replicable en múltiples lugares de Colombia, pero tomando como piloto una de las poblaciones más afectadas por las inundaciones que es Quibdó Choco, más exactamente en las inmediaciones del río Cabí, alimentado por el río Atrato

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de barrera de protección que prevenga las inundaciones que se puedan generar desde la subcuenca hasta el puente del río Cabí.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las posibles causas y consecuencias que generan las inundaciones.
- Analizar las diferentes actividades que se han desarrollado frente a la problemática presentada.
- Realizar un análisis hidrológico e hidráulico en la cuenca del Río Cabí, mediante el uso de programas a fines con el estudio.
- Analizar los datos que arrojan los softwares sobre el tiempo, espacio y duración de las inundaciones de la zona.

Proponer el diseño de un modelo de barreras de protección que prevenga inundaciones, en la cuenca del rio Cabí.

6. ALCANCES Y LIMITACIONES

6.1 Alcance

Este proyecto pretende generar un modelo de estudio para la prevención de las inundaciones específicamente en los barrios Palenque, Niño de Jesús, Porvenir, Los Rosales, El Silencio, Santo Domingo, Cabí ubicados en el departamento de Quibdó, que se encuentran cercanos al río Cabí, en donde se presentan mayores posibilidades de sufrir inundaciones a causa de los altos desbordamientos del río Atrato.

Se realizó un estudio previo donde se genera una entrevista a un organismo de prevención de desastres, el cual informa que pesé a los amplios recursos que se destinan para la prevención de este tipo de problemática, los esfuerzos no son suficientes porque los recursos tecnológicos carecen de estudios sistemáticos y confiables, generalmente las intervenciones son más empíricas y manuales lo que no permiten la seguridad en la ejecución.

Una vez realizado el proyecto, se puede pensar en replicarse en todas las regiones de Colombia donde se requiera intervención para las inundaciones. Puede estudiarse la oportunidad de ofrecerse a otros países donde con frecuencia se presenten este tipo de situaciones, siempre con la calidad del servicio y verificando que sea óptima su utilización en la contención de estos fenómenos naturales.

6.2 Limitaciones

- Cambio de resultados debido a la variabilidad en los datos por modificaciones naturales del clima que afectan considerablemente los resultados que arrojan las estaciones meteorológicas.
- El río Cabí es el piloto principal del estudio, es uno de los cauces con mayor afectación en su recurso hídrico, a causa de la contaminación puede que los

resultados de los estudios varíen, ya que el modelo hidrológico puede arrojar datos errados o diferentes a los que inicialmente se tenían, dándole vuelta al objetivo planteado.

- La deficiente información de la eficiencia en la construcción de barreras de contención, que en Colombia son más manuales que científicas.
- El contratiempo en la obtención de información relevante mencionada anteriormente, considerando que proviene de diferentes sistemas de información y entidades gubernamentales.
- La falla del modelo hidráulico en el momento en el que se está realizando la modelación correspondiente.

7. METODOLOGÍA

Este proyecto busca hacer una propuesta para contener las inundaciones de barrios que estén en la cuenca del río Cabí, en la ciudad de Quibdó- Choco, para tal fin se proponen las siguientes actividades:

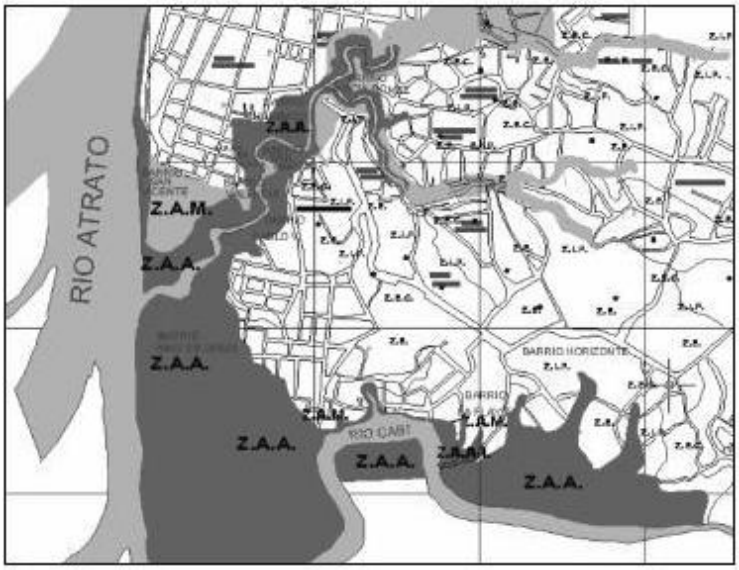
7.1 FASE DE INVESTIGACIÓN

Ya identificada la zona de estudio, se procedió a buscar todo tipo de información frente a la problemática expuesta, utilizando fuentes bibliográficas, artículos de revistas, periódicos, etc.

Se evidenció que la zona de amenazas por inundación en el municipio de Quibdó es producida a causa de las crecientes aguas del Río Atrato y uno de sus afluentes más importantes el Río Cabí. Los barrios que presentan un alto riesgo son los que se encuentran ubicados junto a los ríos Atrato, Cabí, quebrada La Yesca y caño El Caraño, como San Vicente, zonas de Niño Jesús y Palenque, entre otros barrios que se encuentran ubicados en el sector de Cabí. En la figura 7.1., se evidencia el mapa de zonificación de amenazas por inundación. [21].

Los barrios ubicados cerca o después del puente Cabí también son barrios que no cuentan con ayuda del gobierno y no tienen un mecanismo de protección adecuada que los proteja frente a las inundaciones.

Figura 7.1. Mapa de zonificación de amenazas por inundación, sector sur del municipio de Quibdó



Fuente [12]

7.2 FASE HIDROLÓGICA

7.2.1 ÁREA DE ESTUDIO DE LA CUENCA

El área de estudio se encuentra en el municipio de Quibdó, en la cuenca del río Cabí, para poder delimitar la cuenca es necesario tener como base un archivo ráster. El portal de la NASA (ALASKA SATELLITE FACILITY) permite buscar la zona de estudio, al tener la ubicación seleccionada se obtiene la imagen de la zona de estudio por medio del satélite ALOS PALSAR.

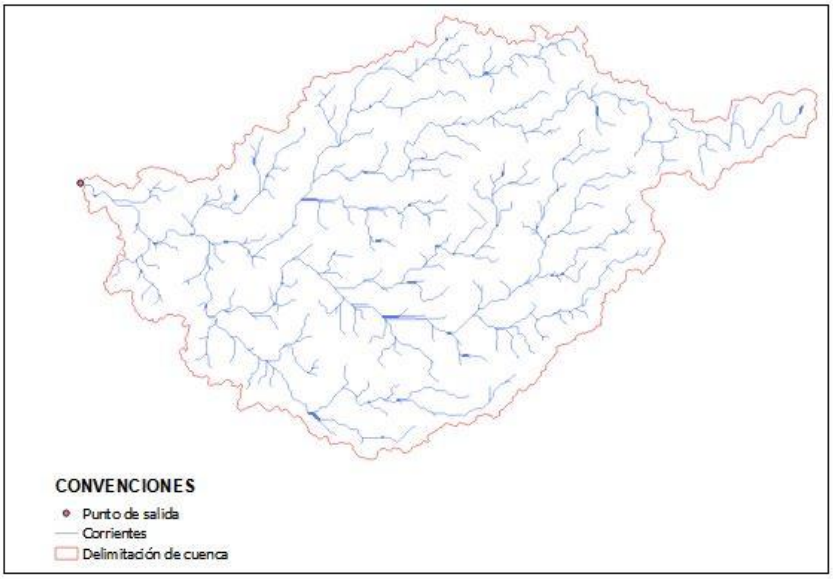
Se eligieron dos archivos que incluían la mayor parte del área de estudio, se descargó y se descomprimió el archivo para obtener el DEM, el cual era necesario para realizar el diseño en el software ARCGIS. Se puede observar en la figura 7.2., las dos imágenes Ráster tipo DEM unidas, y así se puede comenzar el proceso para delimitar la cuenca.

Figura 1.2 Modelo Ráster obtenido del satélite ALOS PALSAR.

Fuente: Propia

Después de obtener la zona de estudio en una imagen ráster, se comenzó a realizar un análisis hidrológico. Se determinaron las corrientes de agua que se tienen en la zona de estudio para así definir el punto de salida de la cuenca como se ilustra en la figura 7.3.

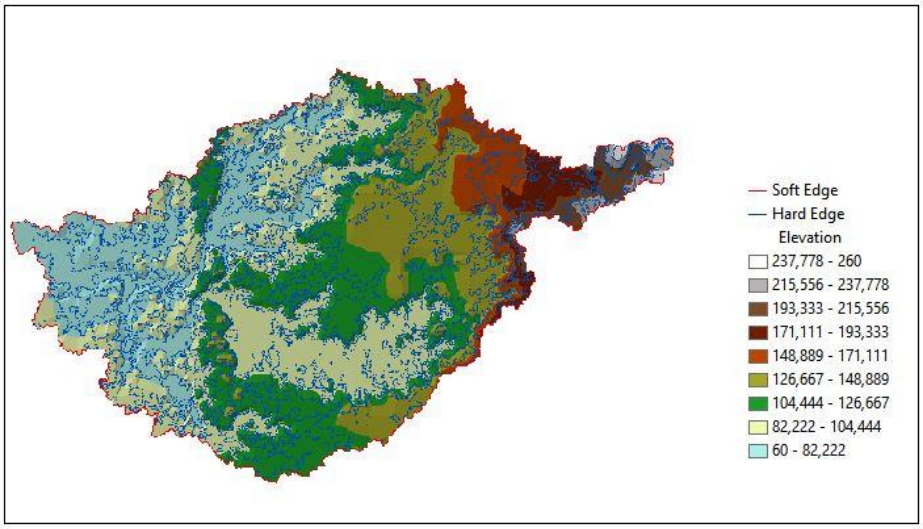
Figura 2.3 Delimitación de cuenca y corrientes.



Fuente: Propia

A partir de la delimitación de la cuenca del Río Cabí se crean las curvas de nivel y así se obtiene la elevación de la zona (ver figura 7.4.), la cual muestra los rangos de elevación de la zona dependiendo de cada color.

Figura 3.4 Capa TIN



Fuente: Propia

El software ArcGIS arroja datos importantes como lo son el área, perímetro, cota máxima y cota mínima de la cuenca demostrada en una tabla de atributos 7.5., lo cual nos indica que la cuenca tiene un área de 168,5 km^2 aproximadamente.

Figura 4.5 *Valores de atributos*

Table

SubCuencaShape

FID	Shape *	ID	GRIDCODE	Area	Perimetro	Cota_Max	Cota_Min
0	Polygon ZM	1	0	168,498067	85,108238	260	60

0 (0 out of 1 Selected)

SubCuencaShape

Fuente: Propia

También se calculó el valor de la pendiente media de la cuenca en función del área y el número de ocurrencias que el programa ArcGIS nos había calculado como se muestra en la figura 7.6. Obteniendo un valor de pendiente de 0.001345 m/m.

Figura 5.6. Área de pendientes

Table

Areadependiente

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	519522	81175312,5	0	4,916666	4,916666	1,940508	1,718901	1008136,40666
2	2	335157	52368281,25	5,11109	10,04853	4,93744	7,24786	1,457321	2429170,960559
3	3	151359	23649843,75	10,142106	15,060032	4,917926	12,180663	1,38788	1843652,933516
4	4	53274	8324062,5	15,119461	20,147013	5,027552	17,077893	1,412967	909807,67588
5	5	14459	2259218,75	20,16077	25,178516	5,017746	22,114982	1,414295	319760,528103
6	6	3448	538750	25,208435	30,224241	5,015806	27,13867	1,381549	93574,133039
7	7	897	140156,25	30,246256	35,269791	5,023535	32,310296	1,364916	28982,335773
8	8	245	38281,25	35,285984	40,240772	4,954788	36,96158	1,2707	9055,587036
9	9	20	3125	40,354752	44,421276	4,066525	42,036473	1,327099	840,729458
10	10	5	781,25	45,728771	50,388641	4,65987	47,778569	1,603063	238,892845

1 (0 out of 10 Selected)

Areadependiente

Fuente: Propia

Por último, a partir del modelo se puede concluir que la longitud del cauce es de 37.359 km^2 (ver anexo 1).

7.2.2 ANÁLISIS DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS

7.2.2.1 Polígonos de Thiessen

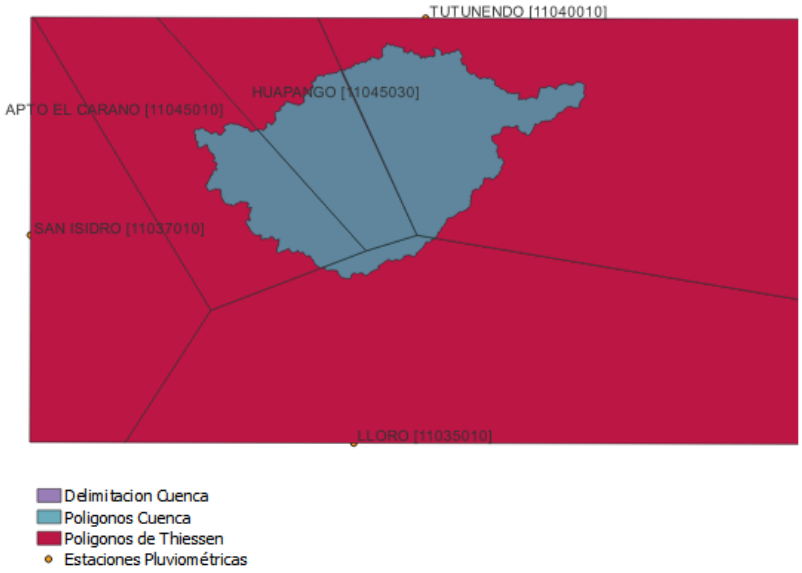
Se realizó los polígonos de Thiessen para saber que estaciones pluviométricas tienen influencia en la cuenca. Se utilizó el programa QGIS en el cual se obtienen las estaciones pluviométricas de la zona de estudio tomadas del catálogo de estaciones del IDEAM como se muestra en la figura 7.7.

Figura 7.7. Estaciones del IDEAM

Fuente propia

Se realizaron los polígonos con las estaciones que corresponden a la cuenca (ver figura 7.8.)

Figura 7.7. Polígonos de Thiessen



Fuente propia

7.2.2.2 Análisis de datos anómalos

En la consulta y descarga de datos hidrometereológicos del IDEAM se obtuvieron los registros históricos de datos pluviométricos de cada una de las estaciones que tienen influencia en la cuenca del río Cabí en un periodo de tiempo de cinco años ya que de acuerdo con el Ideam las estaciones a evaluar solo cuentan con ese rango de años. [31]

Se organizaron los datos pluviométricos por año, mes y día (ver figura 7.9), para cada una de las estaciones. (Ver Anexo 3).

Figura 7.9. Valores totales diarios de precipitación

IDEAM-INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

VALORES TOTALES DIARIOS DE PRECIPITACIÓN (mm)

DEPARTAMENTO: Chocó MUNICIPIO: Quibdó ESTACIÓN: Turbaneño

Año	Mes	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30	Día 31
1967	1	57	44	11	200	4	0	2	3	41	13	7	3	0	19	72	70	12	6	10	1	2	0	5	0	17	70	27	28	13	13	30
1968	1	158	50	0	0	45	48	0	68	69	8	94	40	11	199	0	0	80	7	0	0	81	101	40	70	80	90	90	89	0	0	0
1969	2	20	7	49	0	0	11	4	20	4	2	33	0	20	0	14	8	18	0	0	0	22	48	44	0	4	8	20	0			
1969	3	36	6	20	0	0	0	90	0	21	13	20	8	0	0	76	0	39	10	0	140	39	0	0	40	21	0	20	0	0	10	100
1969	4	0	0	90	30	150	180	26	89	0	21	15	10	26	100	50	0	0	75	60	45	29	48	0	20	10	0	0	4	8	0	
1969	5	0	9	39	108	0	25	40	25	22	0	40	26	0	30	35	8	4	0	6	19	17	27	41	64	95	12	60	0	65	163	80
1969	6	0	35	30	0	0	10	40	0	50	14	0	0	20	0	104	0	40	130	10	39	17	8	16	7	15	30	58	0	79	81	
1969	7	41	0	16	10	42	0	0	12	19	0	0	0	0	145	9	14	0	0	80	0	45	6	0	64	36	30	20	28	10	43	0
1969	8	40	68	80	10	4	60	40	61	96	94	28	11	20	3	71	12	69	60	10	50	54	30	0	71	16	4	27	35	32	5	29
1969	9	0	4	0	40	24	59	0	50	75	68	72	29	15	123	28	20	17	75	20	35	41	109	31	20	50	30	74	52	50	27	
1969	10	25	76	39	73	109	0	2	0	4	0	20	3	8	4	20	30	98	40	12	8	0	0	25	6	11	17	0	31	20	15	80
1969	11	4	20	0	60	0	5	21	60	3	35	30	0	19	40	0	23	14	40	60	0	0	0	72	65	0	0	12	65	0	20	
1969	12	30	14	30	40	45	64	13	6	20	6	17	14	69	10	50	106	30	10	4	14	46	69	15	0	7	18	11	31	42	19	151
1970	1	72	0	31	12	0	0	90	5	11	4	0	0	55	60	39	1	24	9	40	0	0	17	6	42	9	0	14	40	49	21	45
1970	2	62	48	20	7	0	12	60	28	20	0	0	0	46	14	19	12	0	81	31	17	17	3	48	62	60	68	4	0			
1970	3	4	55	60	34	4	35	30	14	60	20	38	0	0	16	10	70	25	110	45	19	0	60	30	10	41	23	29	8	14	40	8
1970	4	21	45	0	46	15	8	0	8	51	3	33	60	70	0	48	30	8	70	30	100	60	50	25	23	5	17	30	130	9	0	0
1970	5	16	27	15	35	46	37	14	14	20	14	12	38	55	25	8	30	21	35	33	135	12	38	65	80	98	148	50	0	45	79	40
1970	6	15	0	3	58	6	54	12	0	45	0	0	24	0	0	68	0	0	31	58	58	23	30	125	20	59	43	19	30	5	25	

Fuente propia

Se tuvo en cuenta el análisis de puntos anómalos por medio de diagrama de cajas y bigotes comparando con la distribución normal, test no paramétricos y el uso de XLSTAT. Después de realizar el análisis, no se encontraron datos de precipitación fuera del rango, por lo tanto, se mantuvieron los datos arrojados por estaciones pluviométricas del IDEAM.

7.2.2.3 Llenado de datos faltantes

Al obtener los datos de precipitación, en algunos casos no se registraban datos, esta fase de llenado de datos se realiza con la finalidad de obtener las series completas, llenando los datos faltantes con los registros concurrentes de las otras estaciones cercanas.

Se realizo el método de proporción normal para esta fase. La fórmula se puede observar en la ecuación (6).

$$PO = \frac{1}{n}\left(\frac{PA}{PB} * hpb + \frac{PA}{PC} * hpc + \frac{PA}{PD} * hpd + \frac{PA}{Pn} * hpm\right) \quad (6)$$

Donde:

Po: Dato de precipitación faltante

n: Número de estaciones de referencia

PA: Valor multianual de la estación que se quiere completar (promedio de los años de la estación A)

PB: Valor multianual de la estación B

hpb: Valor de precipitación del mismo mes y del mismo año en la tabla de referencia B

Únicamente para la estación del Lloro se utilizó el método del promedio aritmético, ya que el rango de años eran distintos. La fórmula se puede observar en la siguiente ecuación 7.

$$Po = \left(\frac{1}{n} * \sum Pi\right) = (\frac{P1 + P2 + P3 + \cdots Pn}{n}) \quad (7)$$

7.2.2.4 Análisis de lluvias intensas – Curvas IDF

De acuerdo con el Manual de drenaje INVIAS, en este método se obtienen curvas intensidad-duración-frecuencia de acuerdo a la precipitación máxima promedio anual en 24 horas que se obtiene de cada estación escogida. [32]

Se utilizó la ecuación (8)., de intensidad de precipitación:

$$i = \frac{a * T^b * M^d}{\frac{t^2}{60}}) \quad (8)$$

Donde:

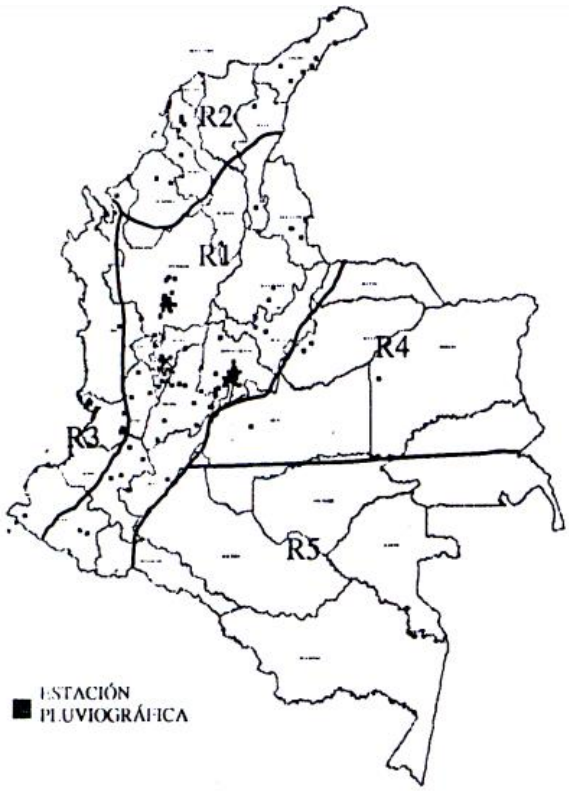
i: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h)

T: Periodo de retorno, en años

M: Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual

a,b,c,d: Parámetros de ajuste de la regresión. Estos parámetros fueron regionalizados (ver figura 7.10) y sus valores se presentan en la tabla 1.

Figura 7.10 Regiones en Colombia para definición de parámetros a,b,c,d.



Fuente propia

Cuadro 1. Valores de los coeficientes a,b,c,d, para el cálculo de las curvas intensidad- duración-frecuencia IDF, para Colombia

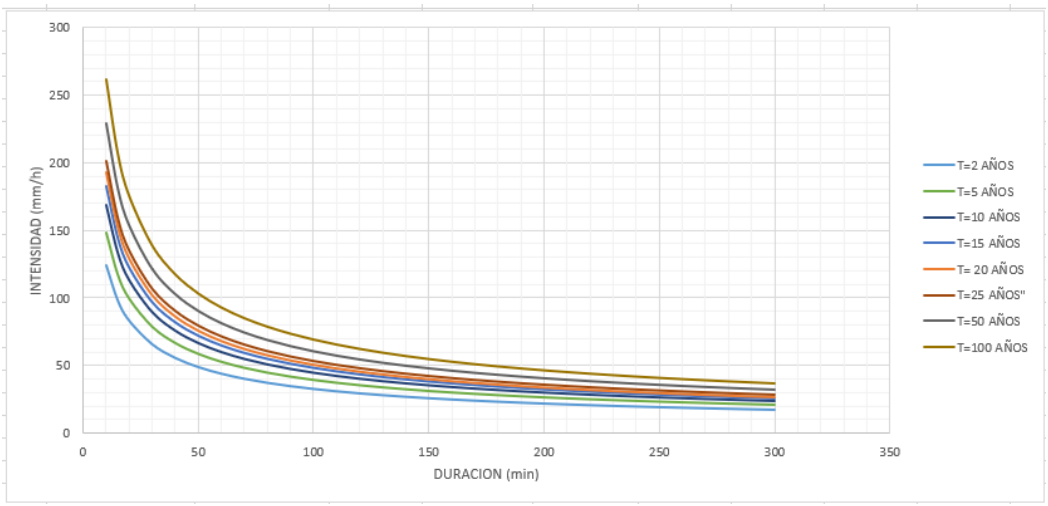
Región	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente [30]

De acuerdo con los parámetros anteriores, la región a escoger fue la pacífica (R3), obteniendo así los valores de los coeficientes para el cálculo de las curvas IDF. Realizando los cálculos correspondientes en cada una de las estaciones se obtuvo como resultado:

- Estación Tutunendo:

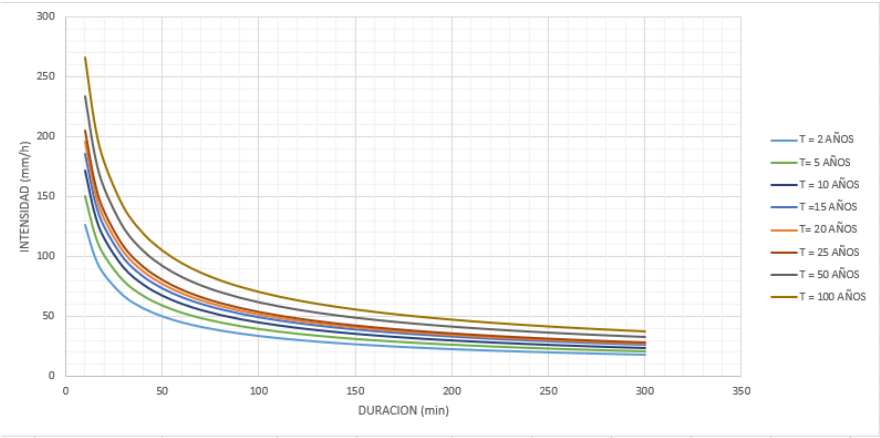
Figura 7.11. Curva IDF Estación Tutunendo



Fuente propia

- Estación Aeropuerto el Carano:

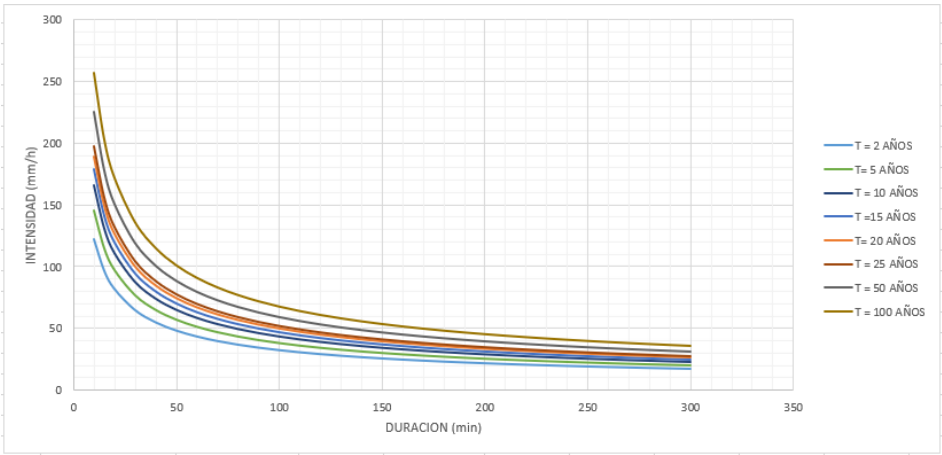
Figura 7.12. Curva IDF Estación Aeropuerto el Carano



Fuente Propia

- Estación Huapango:

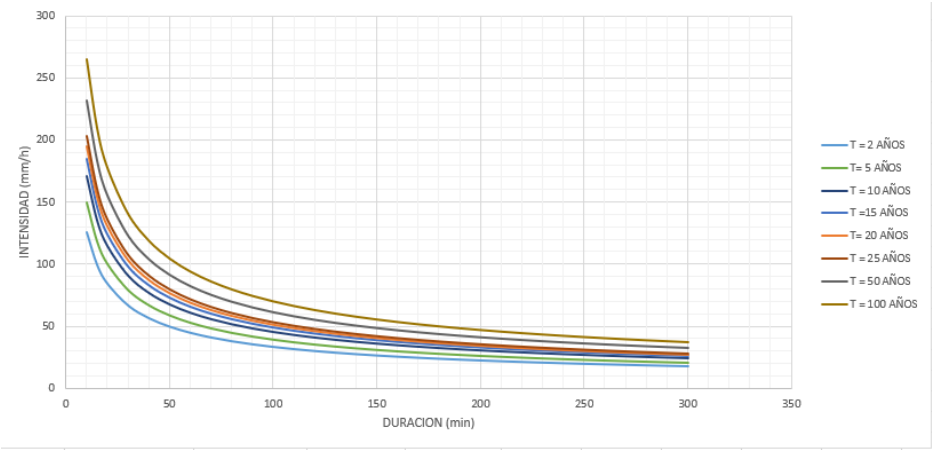
Figura 7.13. Curva IDF Estación Huapango



Fuente propia

- Estación Lloro:

Figura 7.14. Curva IDF Estación Lloro



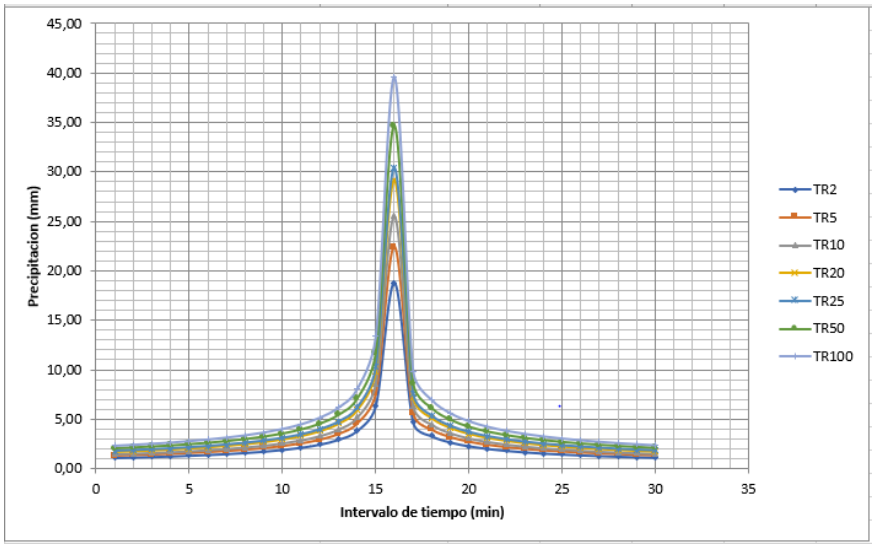
Fuente propia

7.2.3 HIDROGRAMA

Al realizar todos los registros pluviográficos de cada estación, da como resultado una curva de masas de precipitación, lo cual indica la cantidad de flujo de agua que ha caído desde que inició la lluvia. Por medio de estos valores acumulados de la curva de masas se puede calcular el hietograma de precipitación. [32] (Ver anexo 4)

Teniendo como base el análisis de los datos de las curvas IDF de cada estación pluviométrica, se calcularon las curvas de masas y los incrementos de lluvia de cada estación teniendo como resultado el siguiente gráfico. (ver figura 7.15.)

Figura 7.15. Hidrograma de precipitación



Fuente propia

7.2.4 MÉTODO DE HIDROGRAMA UNITARIO DEL UNITED STATES SOIL

El método SCS se utiliza para generar el cálculo de tiempo de desfase de una cuenca hidrográfica manejando el procedimiento de número de curva CN.

Para obtener el número de curva, se tiene en cuenta las siguientes variables en su determinación:

- Tipo hidrológico del suelo.
- Uso de la tierra - cobertura vegetal.
- La condición de humedad antecedente.

En los estudios empíricos que se implementaron por el SCS (Montserrat, Joaquín y Teodoro, 1995), se relacionaron la máxima infiltración potencial con un parámetro de referencia denominado número de curva, CN, cuyos valores están tabulados entre 0 y 100. [34]

Donde:

CN: Número de Curva

S: Es la máxima potencia entre P y Q a la hora que empieza la tormenta y donde representa equitativamente la pérdida de escorrentía por infiltración, intercepción y almacenamiento superficial.

El número de curva y S se relaciona por la ecuación (9)

$$S = \left(\frac{100}{CN}\right) - 10) \tag{9}$$

Para hallar el número de curva se debe tener en cuenta el tipo de suelo y el uso de la tierra en la zona de estudio, para la cuenca del río Cabí se define estos parámetros por medio del IGAC, en el cual se obtiene un mapa de suelos del territorio colombiano (ver figura 7.16) del departamento del Chocó. [35]

Figura 7.16. Mapas de suelos del territorio colombiano, departamento del Chocó

Fuente [35]

El IGAC da a conocer unas especificaciones del tipo de suelo de cada zona del departamento del Chocó. Se analizó la zona de estudio, en el Municipio de Quibdó, la cuenca del río Cabí, un suelo moderadamente profundo, contenido de materia orgánica alta a moderada, texturas moderadamente gruesas a finas, fertilidad baja, entre otras. [33]

Se definen cuatro grupos de suelo (ver figura 7.17.) a partir de los cuales se establece la infiltración del suelo. En la cuenca del río Cabí el suelo presenta una textura arcillo-limosa, un suelo bastante húmedo manejando un mal drenaje clasificando así la cuenca del Río Cabí en el grupo C hidrológico del suelo. [33]

Cuadro 2. Grupo hidrológico del suelo

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Características	Textura
A	Rápida	Alta capacidad de Infiltración > 76 mm/h	Arenosa Arenosa-limosa
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa
D	Muy Lenta	Capacidad de infiltración<13 mm/h	Arcillosa

Fuente [35]

En la tabla 1., se muestran los distintos usos del suelo a partir de los cuales es posible obtener un valor de número de curva.

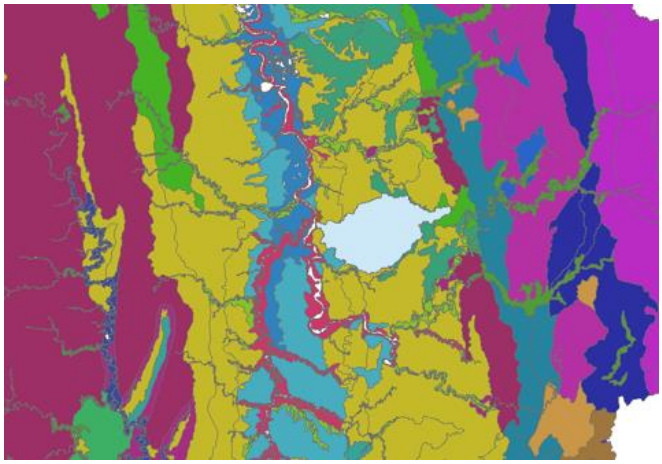
Tabla 1. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana.

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada[1]: sin tratamientos de conservación		72	81	88	91
con tratamientos de conservación		62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres		68	79	86	89
condiciones óptimas		39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,		45	66	77	83
cubierta buena[2]		25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más		39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial[3]:					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable[4]				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.[5]		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
Pavimentados con cunetas y alcantarillados[5]		98	98	98	98
grava		76	85	89	91
tierra		72	82	87	89

Fuente [35]

De acuerdo con el mapa de la cobertura de tierra del Municipio de Quibdó (ver figura 7.18), la cuenca del río Cabí cuenta con pastos limpios en la mayoría de su zona. [37]

Figura 7.17. Mapa cobertura tierra



Fuente [37]

De acuerdo con la Tabla 3., el suelo presenta pastizales en condiciones óptimas, obteniendo un valor de número de curva de 74.

7.2.5 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El valor de tiempo de concentración se tomó por medio de las ecuaciones empíricas que se plantean en el manual de drenaje para carreteras obteniendo como resultado (ver cuadro 1) donde se ven los valores de la ecuación, haciendo un promedio de estos para obtener el valor más aproximado del tiempo de concentración, para este caso se logra un resultado de 15,44 horas. (ver anexo 5).

Cuadro 3. Valores de tiempo de concentración

Ecuación de Kirpcih	Tc=	13.69
Ecuación de Témez	Tc=	6.87
Ecuación de Johnstone y Cross	Tc=	14.73
Ecuación de Giandotti	Tc=	18.96
Ecuación de V.T Chow	Tc=	22.93

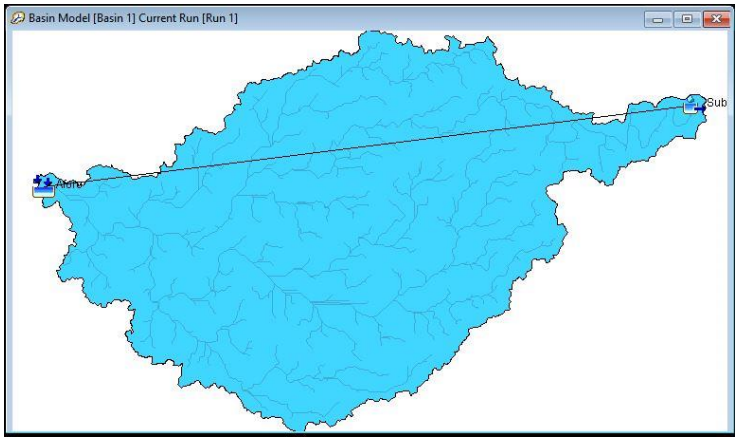
Fuente propia

7.2.6 MODELO HEC HMS

El programa HEC-HMS cuenta con diversas fases de cálculo como: separación de la lluvia neta, escorrentía directa, flujo base y tránsito de hidrogramas. Para su ejecución requiere de ciertos componentes, dentro de los cuales se necesitan algunos datos de entrada, fundamentales para su desarrollo. Para entender el proceso es importante aclarar algunos puntos que hacen parte de su estructura:

a) Cuenca: Para este modelo (Basin Model) se indica al programa la zona próxima de estudio enfocada en la cuenca con sus características como se muestra en la figura 7.18, con la cual realiza las primeras fases de cálculo.

Figura 7.18. Basin model HEC HMS



Fuente propio

b) Dato número de curva: En el cual se hace un estudio específico del suelo y sus condiciones, que para este caso son óptimas y la identificación del uso de la tierra es de pastizal, con un valor de 74.

c) Datos Lluvia: Periodo de retardo el cual esta expresada por la ecuación ((10) dando un valor de 424 minutos

$$LgTime(min) = 0.6 * Tc \tag{10}$$

d) Datos tiempo: De acuerdo con los datos de precipitación de las estaciones climatológicas, se obtiene resultados cada diez minutos los cuales varían según recolección realizada por el IDEAM a través del instrumento pluviógrafo.

El segundo componente Time Series Data Managent se da mediante el hietograma de precipitación creado anteriormente, en el que se insertaron las precipitaciones máximas que generarían en un período de retorno a partir de las curvas IDF. Se calculó para un período de 100 años, en intervalos de cada 10 minutos.

Se ingresan todos los datos del hidrograma por un periodo de tres días, con un intervalo de tiempo de diez minutos, obteniendo así el gráfico de hietograma en el cual se observa el caudal máximo que se utiliza en el diseño. (Ver anexo 6)

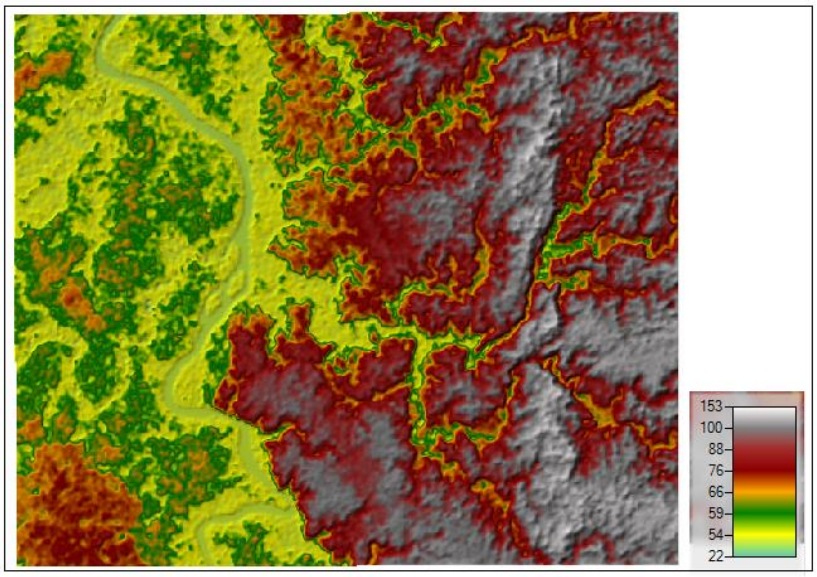
7.3 FASE HIDRAULICA

7.3.1 MODELO HEC RAS

Para este proyecto se realizó la modelación de inundaciones en el municipio de Quibdó, específicamente en el río Cabí. Para lograr el modelo en 2D se tuvo en cuenta una serie de pasos que a continuación se describen:

a. Geometría: Se carga el modelo del terreno, que debe estar georreferenciado (ver figura 7.19), en la cual se puede observar el modelo de elevación del terreno. La franja de color verde muestra que la zona es más profunda y la franja de color gris que es una zona más elevada.

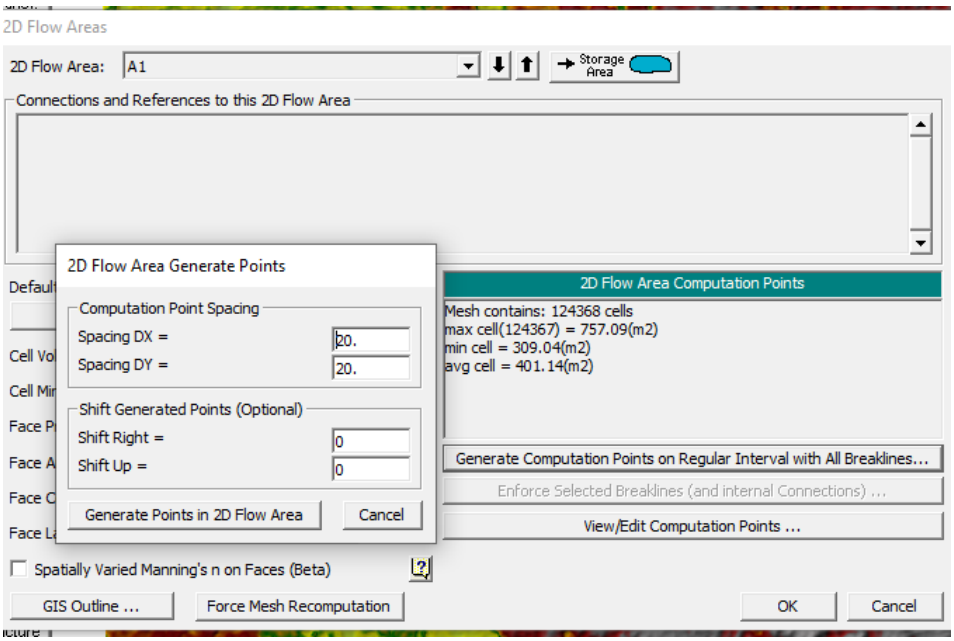
Figura 7.19. Modelo digital del terreno



Fuente propia

En Geometry data se definen el área 2d con el fin de obtener la malla de simulación y el tamaño de celdas, el cual entre más pequeño sea el tamaño de la celda mayor será el detalle, pero el tiempo para procesar será más lento, para este proyecto se establece una celda de 20x20 como se muestra en la figura (ver figura 7.20)

Figura 7.20. 2D área de flujo



Fuente propia

En este punto tambien se establece el valor de Maning para toda la zona. Este valor se obtiene de las características del terreno y el uso del suelo, el cual se establece por medio de la tabla (ver tabla 2)

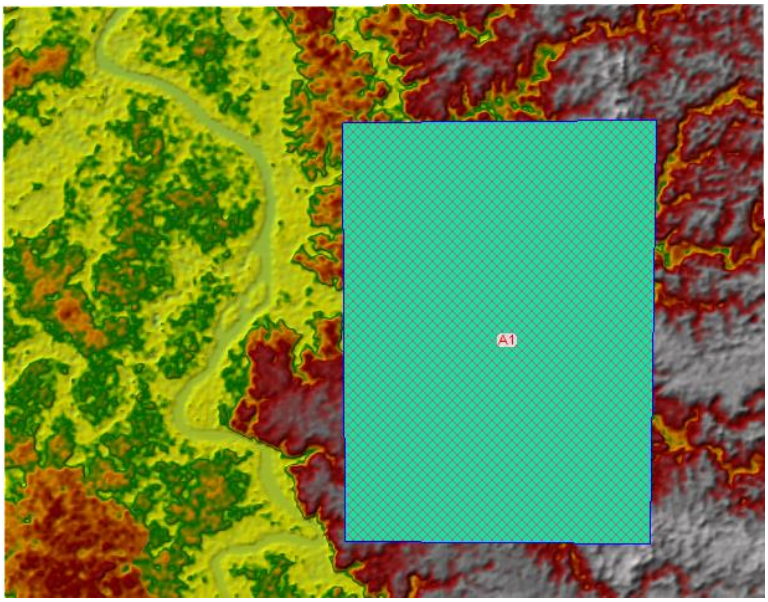
Tabla 2. Coeficientes de rugosidad de Manning

Material		Coeficiente de rugosidad de Manning típico
Concreto		0.012
Fondo de grava con lados de	– concreto	0.020
	– piedra	0.023
	– riprap	0.033
Canales naturales		
Limpios y rectos		0.030
Limpios y curvos		0.040
Curvos con hierbas y piscinas		0.050
Con matorrales y árboles		0.100
Planicies de inundación		
Pastos		0.035
Cultivos		0.040
Hierbas y pequeños matorrales		0.050
Matorrales densos		0.070
Árboles densos		0.100

Fuente propia

Se toma como 0.035 el valor de manning y luego se procede a generar las celdas como se muestra en la figura 7.21

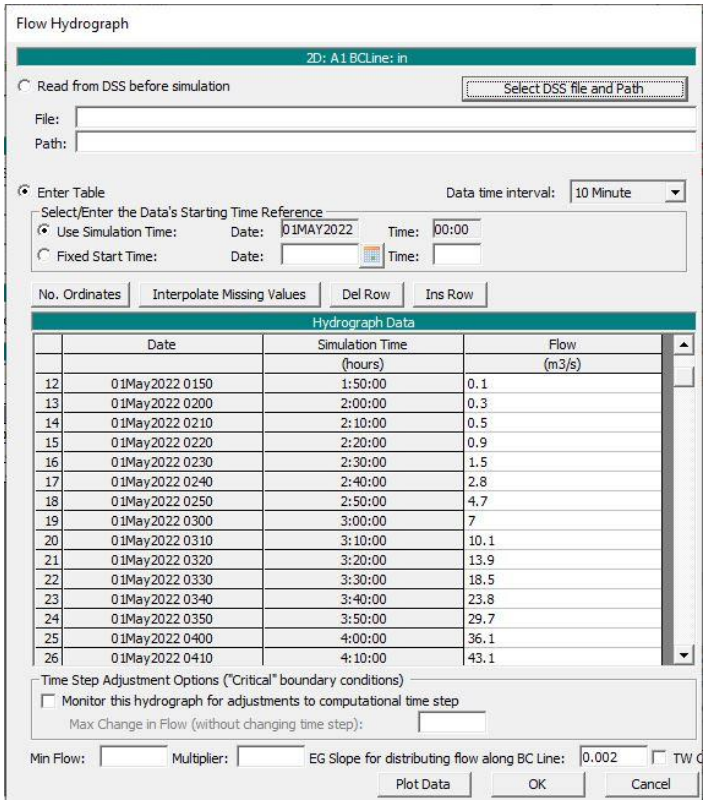
Figura 7.21. Celdas área de flujo



Fuente propia

b. Definición del régimen de flujo y las condiciones del contorno: En el cual se ingresan los caudales iniciales que se conjugan con el tiempo de simulación. Posteriormente, se definen también los intervalos de tiempo tomados del hidrograma y se estableció el tiempo de inicio y fin del hidrograma (ver figura 7.22). Después de lo anterior, se puede calcular la condición del contorno y la distribución del caudal.

Figura 7.21. Análisis de flujo no estacionario



Fuente propia

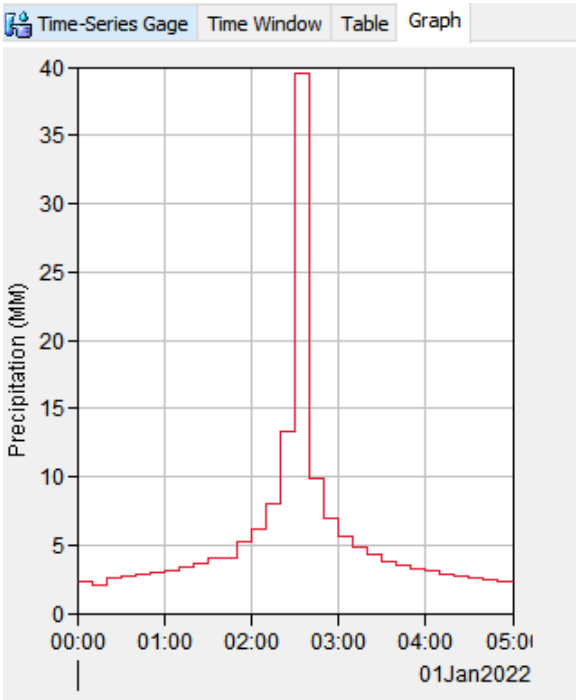
8. ANALISIS Y RESULTADOS

8.1 Modelo HEC HMS

El modelo hidrológico permite conocer el estado de la zona, ya que por medio de las simulaciones se pueden encontrar los rasgos más importantes de la probabilidad de las inundaciones a partir de las lluvias que se presenten en la cuenca.

Al obtener las precipitaciones máximas que se generaron para un periodo de retorno de 100 años a partir de las curvas IDF mencionadas anteriormente, se dan intervalos de cada diez minutos, de tal forma que la duración de la tormenta se da en un lapso de tiempo de cinco horas aproximadamente. Según los datos recolectados en el programa se obtiene el hietograma de diseño (ver figura 8.1)

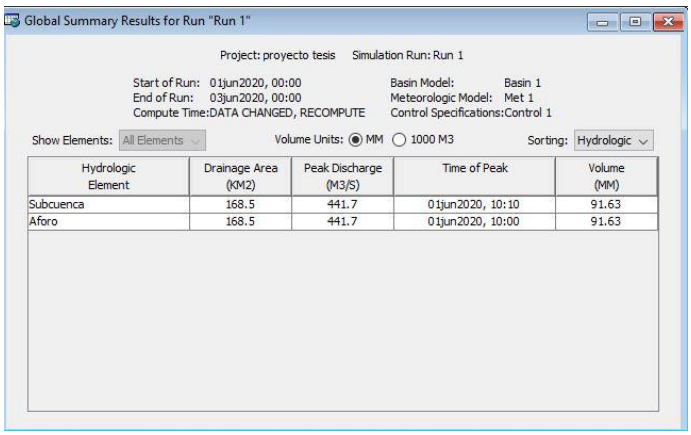
Figura 8.1. Hietograma de precipitación



Fuente propia

En la figura 8.1 se puede evidenciar que algunos horarios son de mayor incidencia (2:00 a 3:00) frente al incremento de la acumulación de las aguas lluvia, que para el estudio arroja valores significativos en cuanto a una inundación después del desbordamiento.

Figura 8.2. Caudal máximo

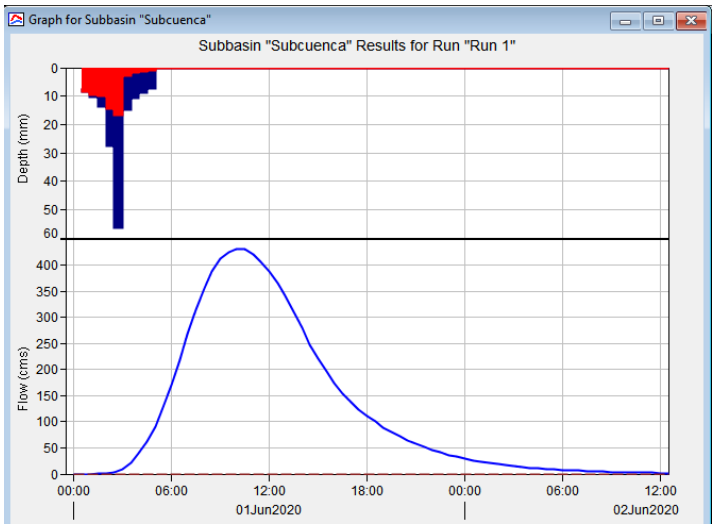


Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Subcuenca	168.5	441.7	01jun2020, 10:10	91.63
Aforo	168.5	441.7	01jun2020, 10:00	91.63

Fuente propia

En la figura 8.2, se obtiene el área de la cuenca y el caudal máximo para este periodo de retorno de 100 años es de 441.7 m^3/s

Figura 8.3. Gráfica de hietograma de precipitación



Fuente propia

El gráfico de hietograma de precipitación permite hacer una recopilación de datos frente a las precipitaciones que se presentan durante varios días desde las cero horas, hasta cumplir las veinticuatro. En ella se puede observar la escorrentía, hasta el punto máximo que es alrededor de las 12:00 y luego hace su descenso hasta lograr la estabilidad. La parte superior de la gráfica representa la infiltración por medio del color rojo y la escorrentía con el color azul. (ver figura 8.3)

Con la corrida del programa se puede observar un resumen de los datos obtenidos como precipitación, perdidas, infiltraciones, etc. (ver figura 8.4)

Figura 8.4. Resultados del modelo

Peak Discharge:	441.7 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	01jun2020, 10:10
Precipitation Volume:	165.04 (MM)	Direct Runoff Volume:	91.63 (MM)
Loss Volume:	73.41 (MM)	Baseflow Volume:	0.00 (MM)
Excess Volume:	91.63 (MM)	Discharge Volume:	91.63 (MM)

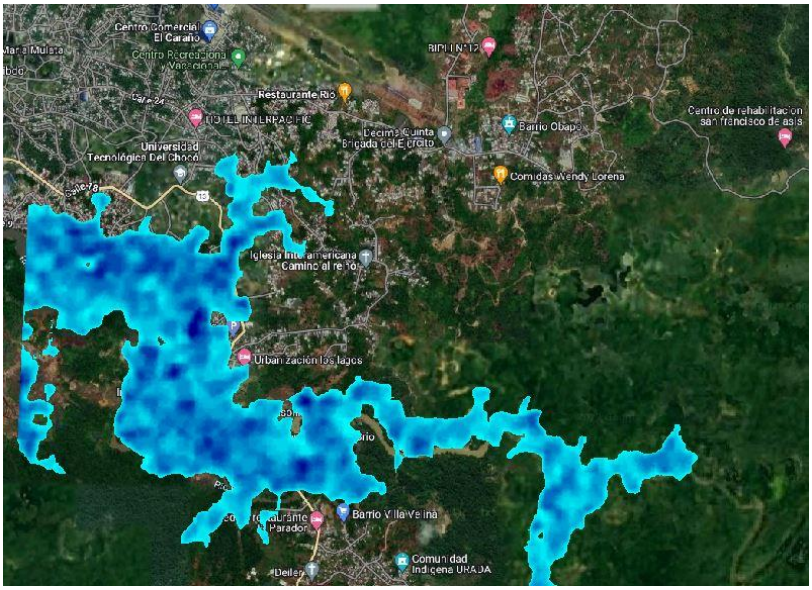
Fuente propia

8.2 Modelo HEC RAS

Este modelo permite hacer una simulación de las posibles inundaciones que se puedan presentar en las cuencas, de acuerdo a los datos que se ingresen según lo requerido. En este se pueden observar los espacios de mayor agudeza frente a la problemática y es una herramienta fundamental en cuanto a la construcción de mecanismos que contengan los avances inundatorios.

Al correr la simulación en este modelo por un periodo de tiempo que abarca dos días, se logra observar el comportamiento de la inundación a lo largo del río Cabí, evidenciando que con el transcurrir de las horas puede llegar a afectar varios barrios alrededor e incluso llegar a inundar en su totalidad a toda la capital del Chocó, (ver figura 8.5). Este modelo permite obtener las características específicas de la inundación, como profundidad, velocidad y la elevación de la lámina de agua respecto al nivel del mar. (Ver anexo 7)

Figura 8.5 Inundación en el municipio de Quibdó

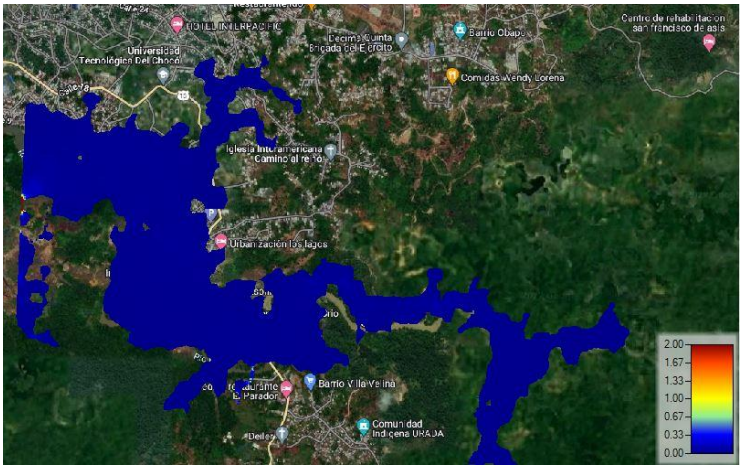


Fuente propia

El modelo además permite identificar la profundidad de la inundación dado que sus colores son representativos, por ejemplo, el color azul intenso refiere mayor profundidad y el color azul caro muestra una zona inundada con una profundidad mínima, (ver imagen 8.5). La zona de mayor profundidad es de 13,55m ubicada en la parte del puente del rio Cabí, en la cual las aguas marchan con una velocidad mayor.

El modelo muestra la simulación de la velocidad con la que se podría inundar la zona y deja ver que esta aceleración no sobrepasa los 2 m/s. (ver figura 8.6)

Figura 8.6 Velocidad de inundación



Fuente propia

El Water Surface Elevation (WSE) da a conocer la elevación de la lámina respecto al nivel del mar, en la tabla de rangos muestra los valores que se relacionan con el color, la zona de estudio representada por el color verde muestra un valor de elevación de la lámina de 60 m, como se observa en la figura 8.7

Figura 8.7 Elevación de la lámina de agua

Fuente propia

Teniendo en cuenta la explicación del modelo, se puede concluir que es necesaria la intervención de la cuenca del río Cabí, se hace necesaria la prevención contra

este tipo de contingencias principalmente en época de lluvias y por eso se plantea el diseño de las barreras que puedan contener esas inundaciones.

8.3 Barrera de protección contra inundaciones

La cuenca hidrográfica del río Cabí, tiene altos factores de deterioro ambiental, es un hijo del río Atrato y sufre de múltiples daños a causa de la contaminación ambiental generada por los habitantes de las laderas del río y por los desechos que circulan por el río Atrato hasta este. Estas consecuencias ambientales generan constantemente desbordamientos, taponamientos y crecientes súbitas que perjudican la región y la hacen más vulnerable en épocas de intensas lluvias. [40]

Para poder hacer frente a esta problemática es necesario no solo hacer prevención en temas de contaminación, sino a demás generar situaciones ante las eventuales catástrofes naturales mencionadas (desbordamientos y crecientes súbitas). El Ideam reportó el aumento de la fluctuación del clima entre 1981-2010 y predice que entre más años pasen la fluctuación será mayor, generando nuevos desastres que principalmente se centran en los ocasionados por las fuertes lluvias. [41]

21 departamentos en Colombia deben enfrentar la dura situación de los desastres ocasionados por la lluvia, en lo corrido de este año los sectores con mayor presencia de inundaciones abarcan la región Andina y pacífica y según los datos del Departamento Nacional de Planeación, para lo que queda del 2022 las lluvias generarán muchos problemas económicos en el Chocó principalmente, debido a que por ser una zona altamente vulnerable y como consecuencia de las lluvias constantes muchas personas damnificadas tendrán que desplazarse a otros lugares, lo que perjudica la economía de otras regiones y la subsistencia de los humanos en el departamento. [42]

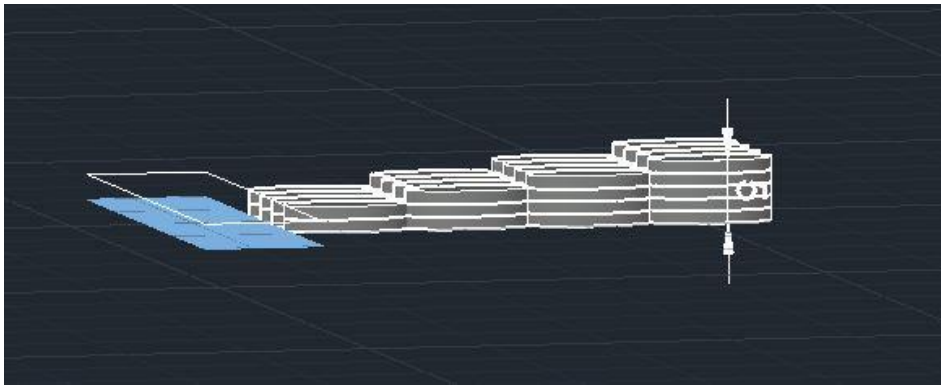
Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito se hace necesaria una intervención en la infraestructura de la región, principalmente favoreciendo los lugares de donde pueden presentarse los desbordamientos de ríos y crecientes súbitas que

perjudiquen el hábitat. Las barreras de contención pueden resultar en la respuesta efectiva ante la situación presentada y por eso se realiza un estricto análisis de la posibilidad de su creación. Enfocando la problemática en la ribera del río Cabí se propone aplicar una barrera de contención que tenga facilidad y rapidez en su construcción.

Según las características del terreno y las zonas para las cuáles se hacen necesarias las barreras de protección y según el análisis que se evidencia a lo largo de este informe las barreras acordes a las necesidades son los Geobags, que consiste en rellenar sacos de tejido de polipropileno, con materiales como arena, arcilla, materiales de sitio o de cantera. Luego se ponen unos sobre otros generando una especie de muros de contención de las corrientes generadas en el río. [39]

Una idea de cómo se puede elaborar la barrera de protección con geobag, se puede ver en la siguiente figura 8.8 (Ver anexo 8)

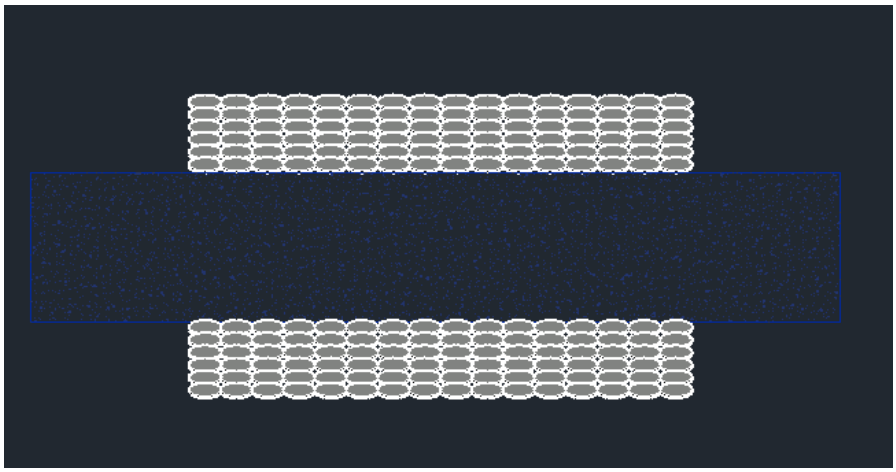
Figura 8.8. Diseño de barrera de protección con Geobags



Fuente propia

La propuesta según lo anterior, es hacer una barrera de contención adecuada, en la cual se tomará en cuenta la utilización de los geobag, teniendo en cuenta que por su contenido genera alta resistencia frente a la fuerza de las corrientes, evitando subpresiones y excesos de presión de poros, sin mencionar que tiene una gran facilidad en su construcción y rápida aplicación. (ver figura 8.9)

Figura 8.9. Diseño de barrera de protección con Geobags



Fuente propia

En el siguiente cuadro se proponen las medidas que deben tener las barreras de protección geobags.

Cuadro 4. Dimensiones de barrera geobag

	Ancho	Largo	Altura
Geobag	1 m	1 m	0.8 m
Barrera	100 m	7 m	5 m

Fuente propia

9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según el análisis realizado en el programa HEC RAS (ver figura 8.5), se puede observar que los barrios aledaños al río Cabí tienen una alta probabilidad de inundación, la zona representada con un color azul más oscuro muestra la profundidad de la posible inundación, sino se hace la contención correspondiente puede presentarse un desbordamiento que llegaría a cubrir gran parte de la zona donde se encuentran barrios como el niño de Jesús, Uribe, Porvenir, entre otros, afectando seriamente las viviendas y la población humana.

Las barreras que se proponen son las Geobasgs como se menciono en el punto anterior, estas tienen una alta contención en las corrientes con mayor velocidad que según el análisis que se realizo en el programa (HEC RAS), muestran un valor mayor a 2 m/s

Como se puede observar en la figura 9.1 que se encuentra a continuación, los alrededores del río tienen una falencia en su estructura ya que no tienen un muro de distanciamiento entre el río y la zona habitada en la región.

Figura 9.1. Puente Cabí

Fuente propia

Como parte de la prevención contra este tipo de desastres naturales y para ayudar a que la zona tenga una mayor protección, se hace una delimitación en color naranja de las posibles ubicaciones de las barreras de protección (Geobags) que se proponen en este informe (Ver figura 9.2)

Figura 9.2. Delimitación de la zona

Fuente propia

En los resultados se puede concluir que la zona es de alto riesgo frente a las inundaciones causadas por las diferentes acumulaciones de aguas, los desbordamientos en la región son inminentes y hacen necesaria la contención a través del diseño de barreras que sirvan para este fin.

Es importante generar desde allí la prevención con estudios específicos de materiales idóneos para una contención mayor y así generar un piloto efectivo para la problemática que se presenta en otras regiones del país.

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace difícil hacer prevención en cuanto a las inundaciones por la dificultad de poner bases en los terrenos y por ello es importante verificar las diferentes barreras que se han utilizado y hacer una propuesta optima que contenga los mejores materiales como la mencionada anteriormente (geobags). Gracias a este análisis se puede generar un modelo adecuado con estudio de su altura, intervención del suelo, profundidad y tiempos que se deben tener en cuenta para la aplicación de la barrera.

10. ACCIONES PARA TRANSFERIR LOS RESULTADOS

Hacer que este documento llegue a la Gobernación de Choco, a la Alcaldía de Quibdó y las comunidades de los barrios de estudio, para que la implementación sea más efectiva.

Es posible también realizar reuniones con los entes gubernamentales y en general con los habitantes de la zona para la concientización frente al aspecto medio ambiental y al requerimiento de personal para la construcción dirigida de las barreras mencionadas.

11. CONCLUSIONES

1. Analizar las posibles causas y consecuencias que generan las inundaciones.

Una de las causas y consecuencias principales que generan las inundaciones, son las intensas lluvias que se presentan en la región y las pocas oportunidades que tienen las entidades que trabajan en la prevención de desastres acerca de la contención de aguas lluvia, al realizar el estudio se puede entender la necesidad que surge frente a la problemática planteada desde el inicio en este trabajo.

Pese a los esfuerzos gubernamentales y a la atención brindada en la zona sobre los riesgos en inundaciones, siguen siendo menores las oportunidades que tiene la población en cuanto a la protección que se requiere con urgencia en este lugar. Los esfuerzos de entidades como bomberos, el Consejo de Gestión del Riesgo liderado por el presidente de la República y el Gobernador del Chocó junto con ministros, alcaldes, entidades operativas y director de la UNGRD para dar solución a las inundaciones presentadas en las el departamento, siguen faltando esfuerzos y elementos de prioridad frente a la problemática a tratar.

2. Analizar las diferentes actividades que se han desarrollado frente a la problemática presentada.

Para la problemática de las inundaciones son pocos los recursos destinados y pese a que siempre están monitoreando la situación, faltan inversiones para contener este problema, se han ofrecido recursos económicos a las personas que pueden desplazarse a otros sectores y se les han propuesto alternativas de cambio de vivienda, pero esto no ayuda a contener como tal la problemática, se requiere una intervención directa para reducir las inundaciones en la zona, por esto se hace necesario la construcción de otras alternativas de ayuda como las barreras.

3. Realizar un análisis hidrológico e hidráulico en la cuenca del Río Cabí, mediante el uso de programas a fines con el estudio.

Teniendo en cuenta el modelo de estudio HEC RAS se pudo hacer una simulación de cómo se presentan las inundaciones en este punto especifico del río Cabí, los resultados dejaron ver la frecuencia, velocidad y profundidad de las inundaciones en el lugar y permite identificar los espacios que requieren con prontitud la intervención.

4. Analizar los datos que arrojan los softwares sobre el tiempo, espacio y duración de las inundaciones de la zona.

Según el programa HEC RAS, la simulación muestra que es posible que las inundaciones se presenten en un lapso de 10 minutos durante dos días la cual se expande rápidamente a toda la zona del Quibdó, se evidencian las zonas que tendrían lugar a una posible inundación con una profundidad máxima de trece metros y así se lleva a cabo el análisis de una posible solución a los barrios mas afectados.

5. Proponer el diseño de un modelo de barreras de protección que prevenga inundaciones, en la cuenca del rio Cabí.

El diseño del modelo de barreras de protección que prevenga inundaciones es la mejor propuesta para la intervención y puede llegar a ser la solución que en la región está haciendo falta para contener las múltiples inundaciones y desbordamientos que se hacen cada vez más recurrentes en la zona. El proyecto es un piloto que incluso puede llegar a ser una idea generalizada para aplicar en las diferentes zonas del país e incluso del mundo en las que se presenten riesgos como el mencionado en este trabajo.

12. RECOMENDACIONES

La fluctuación del clima hace que 21 departamentos de Colombia tengan riesgo inminente de inundaciones, pesé a los esfuerzos de las autoridades gubernamentales que se han centrado principalmente en este tipo de desastres naturales, las lluvias son intensas y con mayor frecuencia en los últimos años, principalmente en la zona del Choco, generando miles de damnificados y problemas medio ambientales, para ello se hace indispensable la inversión en temas de contención de las corrientes de agua que se pueden generar a partir de las intensas lluvias y por ello es necesario realizar un estudio que ayude a generar algún tipo de contención para estas corrientes. La inversión económica para infraestructura que contribuya con esta problemática se requiere con urgencia y la construcción de las barreras son obligatorias para reducir los índices de vulnerabilidad.

Al realizar el análisis del diseño de un modelo de barrera de protección para la prevención de las inundaciones que se puedan generar en la subcuenca del Río Cabí, se puede concluir que es fundamental implementar la intervención ya que es inminente el riesgo que persiste por la falta de las barreras en la zona mencionada. Los datos de la simulación y la propuesta de la aplicación de las barreras en los puntos específicos con mayor riesgo ante las posibles inundaciones o desbordamientos que perjudicarían al sector. Se recomienda utilizar otro tipo de datos que generen una proyección sobre las posibles precipitaciones y aumento de estas y que los estudios que se hayan realizado sirvan como base para avanzar en los proyectos que a partir de la problemática se presenten, es decir que todo lo que ya se ha realizado sea un complemento para mejorar la condición de la zona afectada.

Se recomienda el diseño de las barreras de protección geobags, teniendo en cuenta la propuesta a lo largo del trabajo ya que son rápidas, efectivas y fáciles de construir.

13. BIBLIOGRAFÍA

[1] IDEAM (2014), Adscrito al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

[2] J. Sánchez (2018, abr 18), Causas y consecuencias de las inundaciones, Ecología verde

[3] S. Nación (2022, mar 03) Más de 3 mil familias damnificados en el Chocó por las fuertes lluvias, EL TIEMPO.

[4] Rodríguez, Alcocer, Albornoz, Llaguno y Maldonado. Problemática De Inundaciones En Zonas Urbanas Y Propuestas De Solución Desde Un Enfoque Matemático, Mapas De Riesgos En Zonas Urbanas. (2020)

[5] DNP (2015, May 25), "3.181 muertos y 12,3 millones de afectados: las cifras de desastres naturales entre 2006 y 2014", [Online]. Available: https://www.dnp.gov.co

[6] EPQ (2020, Feb), Plan de Manejo Ambiental y Social Tanque la Loma Quibdó.

[7] A. campos, E. Dickson, N. Holm-Nielsen, C. Díaz, D. Rubiano, C. Costa, F. Ramírez (2012). Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia, Banco Mundial Colombia.

[8] Federación luterana mundial Programa Colombia, (2019), Por qué trabajamos en el Chocó.

[9] A. Bejarano, "GOBERNANZA DEL AGUA: EL CASO DEL RÍO CABÍ 2002 - 2013", Trabajo de grado, 2014.

[10] P. Hernández, La minería ilegal en Colombia crece velozmente y pone en riesgo la biodiversidad, En mongabay, Periodismo ambiental Independiente en Latinoamérica, (21, diciembre, 2016)

[11] infobae, “Desbordamientos del río Atrato en Chocó”, Colombia, (Ene,2021)

[12] Z. Maturana, “Mapa de zonificación de amenazas por inundación del casco urbano del municipio de Quibdó (Chocó), Estudio basado en la interpretación de imágenes de radar, de satélite y fotografías aéreas.” Ing. Investig. vol.27. no.3. Bogotá. 2007.

[13] SAGGES, (2019), Inundaciones en el departamento del choco, SAGGES SERVICIOS DE ANALISIS GEOLOGICOS ESPECIALES, [Online]. Available: https://www.sagges.com

[14] J. Correa, "Desbordamiento del río Atrato deja 5.000 familias afectadas en Chocó", CARACOL RADIO, ene,2021

[15] Sedano, Carvajal y Ávila, (2013). "Análisis De Aspectos Que Incrementan El Riesgo De Inundaciones En Colombia", Universidad de Caldas, Revista Luna azul No. 37 (jul.-dic. 2013)

[16] Gonzales J, "La Gestión Del Riesgo De Desastres En Las Inundaciones De Colombia: Una Mirada Crítica", Trabajo de grado, Bogotá, 2014.

[17] LCF Tecnologies, Prevención frente a inundaciones, [Online]. Available: https://www.lcftech.es

[18] S.L. LCF Technologies, (2020) Barreras contra inundaciones, [Online]. Available: https://barrerasdecontencion.com/

[19] flowerpot man, Garden drainage systems. “build a bund flood defense barrier", [Online]. Available: https://www.flowerpotman.com/

[20] E. Rodríguez, (2018, sept 10) "Las barreras que habrían evitado la inundación de Cebolla”, EL ESPAÑOL, [Online]. Available: https://www.elespanol.com/

[21] ArcGIS Resources. Introducción a ArcGIS. [Online]. Available: https://www.flowerpotman.com/https://resources.arcgis.com/

[22] J. Sánchez, "HEC-HMS Manual elemental”, dpto. Geología, Univ. Salamanca, España.

[23] L. Nanía, E. Moreno, " Manual básico de HEC-RAS 3.1.3y HEC-GeoRAS 3.1.1”, Curso de especialización, Universidad de Granada, 2007.

[24] R. Sedano, Gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia. Universidad Politécnica de Valencia- Madrid- España, (Julio, 2012)

[25] Carvajal-Escobar, Y. "Adaptación a la variabilidad climática y el cambio climático con énfasis en el contexto vallecaucano y colombiano”, Trabajo para ascenso de escalafón a profesor titular, Universidad del Valle. Cali, Colombia, 2011.

[26] V. Quirk, The BIG U: BIG's New York City Vision for "Rebuild by Design", Arch Daily Colombia, Abril 04, 2014.

[27] EITB.EUS, inundaciones en bangladesh, [Online]. Available: https://www.eitb.eus/es/noticias/internacional. (mayo 20, 2022)

[28] Y. Ibarguen. (2022, abr 22). Avalancha de rocas y lodo en el municipio de Viotá, Cundinamarca, deja 5 personas fallecidas. [Online], Available: https://www.colombia.com/

[29] El tiempo. (2022, abr 19). Temporada de lluvias deja 5.177 familias damnificadas y 28 fallecidos. [Online]. Available: https://www.eltiempo.com/colombia

[30] UNGRD. (2022, mar 07). Lluvias en el país empiezan a aumentar. [Online]. Available: http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/

[31] IDEAM, (2022) “Mapa estaciones IDEAM,” http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/.

[32] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Manual De Drenaje Para Carreteras. INVIAS, 2009.86 p.

[33] IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Mapas de Suelos del Territorio Colombiano a escala. [Online], Available: https://geoportal.igac.gov.co/

[34] Ferrér M, Rodríguez J y Estrela T, (1995). Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica. Ingeniería del Agua.

[35] V.T Chow., D. Maidment, L Mays, Hidrología Aplicada, 2nd. ed McGraw-Hill, 1994.

[36] Benavides.S, Sanchez.P, Mojica.F. (1958). Exploración de algunos suelos del Chocó. Chocó: IGAC.

[37] GOBIERNO DE COLOMBIA. Ministerio De Ambiente, [Online]. Available: https://www.minambiente.gov.co/

[38] A. Akter, G. Pender, G. Wright, M. Crapper, "Performance of a Geobag Revetment", Journal of Hydraulic Engineering, August 2013.

[39] PAVCO, Wavin (2022). Geobags. [Online], Available: https://pavcowavingeosinteticos.com/

[40] IDEAM, Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, (2005). Plan de manejo ambiental participativo de la cuenca del río Cabí Quibdó-Choco Biogeográfico. [Online], Available: http://documentacion.ideam.gov.co/

[41] IDEAM, (2020). Tiempo y clima. [Online], Available: http://www.ideam.gov.co/

[42] DNP, Departamento Nacional de Planeación. (Jul,2016), Departamentos de Colombia podrían verse afectados ante la nueva temporada de lluvias [Online], Available: https://www.dnp.gov.co/(Jul,2016)

[43] Wikiloc, (2018). Monitoreo Río Cabí y Quebradas Quibdó. [Online], Available:https: //es.wikiloc.com/

14. ANEXOS

Anexo 1 Delimitación cuenca del río Cabí-programa ArcGIS

Anexo 2 Polígonos de Thiessen-QGIS

Anexo 3 Análisis de datos de estaciones-Curvas IDF

Anexo 4 Cálculo de Hidrograma de precipitación

Anexo 5 Resultados de Tiempo de concentración

Anexo 6 Modelo en el programa HEC-HMS

Anexo 7 Modelo de inundación en Quibdó- Programa HEC-RAS

Anexo 8 Diseño de barrera de protección contra inundaciones- AutoCAD

Anexo 9 Anteproyecto